A large, curved metal sculpture, possibly a piece of art or a monument, stands in a grassy field. The sculpture is made of a single, long, thin metal rod that curves from a horizontal position at the top to a vertical position at the bottom, forming a large, open loop. The background is a clear blue sky and a distant town or city visible on the horizon.

GeoMAP - Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen

GeoMAP - Nástroje geologického, hydrogeologického a geomechanického modelování pro účely zahlazování následků hornické činnosti a obnově území ovlivněného těžbou



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014-2020



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014 – 2020

GeoMAP - Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen

GeoMAP - Nástroje geologického, hydrogeologického a geomechanického modelování pro účely zahlazování následků hornické činnosti a obnově území ovlivněného těžbou

Axel Rommel, Sylvi Hädecke, Maria Ussath, Mathias Hübschmann

Sylvi Hädecke¹, Priscilla Ernst¹, Ralf A. Oeser¹, Axel Rommel¹, Maria Ussath¹, Mathias Hübschmann¹, Fabian Weber², Gunther Lüttschwager², Heinz Konietzky², Lukas Oppelt³, Sebastian Pose³, Thomas Grab³, Tobias Fieback³, Jiří Malíš⁴, Martin Klempa⁴, Jindřich Šancer⁴

¹ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

² TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

³ TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik

⁴ Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765



technische
THERMO
DYNAMIK

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

GeoMAP ist ein vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und durch Landesmittel des Freistaates Sachsens unterstütztes, internationales Projekt aus dem Programm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014–2020, registriert unter der Nummer 100348899.

Als Leadpartner beteiligte sich das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) an dem Projekt, weiterhin ist auf deutscher Seite die Technische Universität Bergakademie Freiberg mit dem Institut für Geotechnik und dem Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik involviert. Auf tschechischer Seite ist die Technische Universität Ostrava mit dem Institut für saubere Technologien im Bergbau und der Verwertung von Energierohstoffen (Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin Technické univerzity Ostrava) im Projekt GeoMAP eingebunden.

GeoMAP je mezinárodní projekt podporovaný Evropským fondem pro regionální rozvoj (ERDF) a státními fondy Svobodného státu Sasko z programu na podporu přeshraniční spolupráce mezi Svobodným státem Sasko a Českou republikou 2014–2020, registrovaný pod číslem 100348899.

Na projektu GeoMAP se na německé straně jako hlavní, vedoucí partner podílel Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii (LfULG), dalším partnerem byla Technická univerzita Báňská akademie Freiberg s Institutem geotechniky a Institutem tepelného inženýrství a termodynamiky. Partnerem na české straně byla Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava zapojená do projektu s Institutem čistých technologií těžby a užití energetických surovin.

Titelseite: Skulptur „Zeitsenkungskurve“ von Paul Fuchs bei Oelsnitz/Erzgebirge
(Foto: Ralf Oeser)

Titulní strana: Socha "Zeitsenkungskurve" (Křivka redukce času) poblíž Lugau/Oelsnitz
(Foto: Ralf Oeser)

Vorwort

„*Alles kommt vom Berge her*“ lautet eine alte Redewendung im Erzgebirge. Der Wohlstand und die in den (ehemaligen) Bergbauregionen Sachsens und Nordböhmens vorhandene technische Expertise rund um die Lokalisierung, Gewinnung und Aufbereitung mineralischer Rohstoffe beruhen auf der, oft entbehrungsreichen und gefährlichen, bergmännischen Tätigkeit unserer Vorfahren.

Die große Bedeutung, die der Bergbau für die Regionen hat, birgt aber auch ihre Schattenseiten. Bergbaufolgen und sogenannte Ewigkeitslasten treten sowohl im Berg- als auch im Tagebau auf und betreffen die Landschaft, bebaute Areale, Gewässer und nicht zuletzt den bergmännisch geprägten geologischen Untergrund. Einige nachhaltige Veränderungen, die der Bergbau verursacht hat, erfordern einen erheblichen Untersuchungsaufwand, um das Ausmaß der tatsächlichen Gefährdung abzuschätzen sowie geeignete Maßnahmen zur Gefahrenabwehr abzuleiten.

Neben den langfristigen Bergbaufolgen haben Berg- und Tagebau auch Einfluss auf das Image der Regionen. Forschungs- und Pilotprojekte zu den Nachnutzungspotenzialen von Bergbaurevieren tragen dazu bei, dass dieses Image gerade im Hinblick auf Möglichkeiten der innovativen Energiegewinnung und Ressourcenschonung positiv erweitert wird.

Das EU-Projekt GeoMAP dient in diesem Kontext dem Erfahrungsaustausch über

Předmluva

„*Všechno pochází z hor*“ – prosperita a technické znalosti v (bývalých) hornických oblastech Saska a severních Čech, související s lokalizací, těžbou a zpracováním nerostných surovin, vycházejí z často zanedbaných a nebezpečných těžebních činností našich předků.

Velký význam, který má těžba pro regiony, má však i své stinné stránky. Negativní následky těžby a její tzv. "věčné zatěže" se vyskytují jak v důlní, tak v povrchové těžbě a ovlivňují krajinu, zastavěné oblasti, vody a v neposlední řadě také geologické podloží. Některé trvalé změny způsobené těžbou vyžadují značné množství výzkumů pro posouzení rozsahu skutečného rizika a odvození vhodných opatření k odvrácení nebezpečí.

Kromě dlouhodobých následků na životní prostředí má hlubinná a povrchová těžba dopad také na image regionů. Výzkum a pilotní projekty, týkající se potenciálu opětovného využití hornických oblastí, přispívají k pozitivnímu rozšiřování tohoto obrazu, zejména s ohledem na možnosti inovativní výroby energie a zachování zdrojů.

V této souvislosti slouží projekt EU *GeoMAP* k výměně zkušeností s geovědními metodami v oblastech těžby i v oblastech post-těžebních. Stejně jako vyrovnání se s důsledky těžby, tak i využití potenciálu krajiny pro následné využití vyžaduje kvalifikovaný sběr a vyhodnocení dat, modelování a vizualizaci. V Sasku a České republice byly v tomto ohledu v posledních

geowissenschaftliche Methoden in Bergbau- und Bergbaufolgegebieten. Sowohl die Bewältigung von Bergbaufolgen als auch die Ausschöpfung von Nachnutzungspotenzialen erfordern eine qualifizierte Datenerfassung und –auswertung, Modellierung und Visualisierung. In Sachsen und Tschechien konnten diesbezüglich in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden, die auch auf andere Regionen übertragbar sind. Mithilfe von Finanzmitteln aus dem Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) konnten bereits zahlreiche Vorgängerprojekte realisiert werden, die dazu beigetragen haben, dass sich Bergbauregionen Sachsens und Nordböhmens erfolgreich weiterentwickeln konnten. GeoMAP leistet in diesem Zusammenhang einen wertvollen Beitrag zum Austausch zwischen Behörden, Kommunen und Wissenschaft. Mit seiner Ausrichtung auf Kommunikation und Netzwerkbildung fördert das Projekt die nachhaltige und zukunftsorientierte nachbergbauliche Entwicklung der Regionen. Der vorliegende Projektband stellt die wesentlichen Erkenntnisse und Produkte der gemeinsamen Arbeit der Projektpartner dar.

desetiletích získány rozsáhlé zkušenosti, které lze přenést i do jiných regionů. S pomocí finančních prostředků z Evropského fondu pro regionální rozvoj (EFRE) byla již realizována řada předchozích projektů, které přispěly k úspěšnému rozvoji hornických oblastí Saska a severních Čech. V této souvislosti přispívá *GeoMAP* významně k výměně znalostí mezi úřady, obcemi a vědou. Se svým zaměřením na komunikaci a budování sítí projekt podporuje udržitelný a na budoucnost orientovaný post-těžební rozvoj regionů. Základní poznatky a výsledky společné práce partnerů do projektu zapojených představuje tento sborník.



Norbert Eichkorn

Präsident

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie

Norbert Eichkorn

Prezident

Saský zemský úřad pro životní prostředí,
zemědělství a geologii

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

	Projektsteckbriefe der einzelnen Projektpartner	7
	<i>Sylvi Hädecke, Ralf A. Oeser, Axel Rommel, Maria Ussath, Priscilla Ernst, Mathias Hübschmann, Fabian Weber, Gunther Lüttschwager, Heinz Konietzky, Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Thomas Grab, Tobias Fieback, Jiří Mališ, Martin Klempa, Jindřich Šancer</i>	
1.	Einleitung und Geologischer Rahmen des Projekts GeoMAP	15
	<i>Sylvi Hädecke, Axel Rommel</i>	
2.	3D-Untergrundmodell Lugau/Oelsnitz – Neubewertung und Aktualisierung bezogen auf aktuelle Fragestellungen des Nachbergbaus	36
	<i>Sylvi Hädecke, Ralf A. Oeser, Axel Rommel, Maria Ussath, Mathias Hübschmann</i>	
3.	Numerische Simulation flutungsinduzierter Hebungen am Beispiel des ehemaligen Steinkohlereviers Lugau/Oelsnitz	57
	<i>Fabian Weber, Gunther Lüttschwager, Heinz Konietzky</i>	
4.	Handlungsempfehlungen zu geotechnischen Fragestellungen von Bergbaufolgelandschaften anhand von numerischen Simulationen von Nachbergbau-Problemen im Rahmen des Projekts GeoMAP	80
	<i>Fabian Weber, Heinz Konietzky</i>	
5.	Anschauungsobjekt LP und PP1a: Bergbaufolgen im Lugau/Oelsnitzer Steinkohlenrevier – Vorstellung der Medienstation	101
	<i>Axel Rommel, Sylvi Hädecke, Fabian Weber</i>	
6.	Stillgelegte Bergwerke als regenerative Energiequelle	112
	<i>Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Thomas Grab, Tobias Fieback</i>	
7.	Herausforderungen und Potentiale der Bergbaulandschaft im Moster Braunkohlenbecken	136
	<i>Jiří Mališ, Martin Klempa, Jindřich Šancer</i>	
8.	Workshops und Fachkonferenzen	155
	<i>Sylvi Hädecke, Axel Rommel, Fabian Weber, Lukas Oppelt, Jiří Mališ</i>	
9.	Netzwerkarbeit im Projekt GeoMAP	184
	<i>Sylvi Hädecke, Axel Rommel, Fabian Weber, Lukas Oppelt, Jiří Mališ</i>	

Rejstřík

Předmluva

Projektové profily jednotlivých partnerů projektu 7

Sylvi Hädecke, Ralf A. Oeser, Axel Rommel, Maria Ussath, Priscilla Ernst, Mathias Hübschmann, Fabian Weber, Gunther Lüttschwager, Heinz Konietzky, Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Thomas Grab, Tobias Fieback, Jiří Mališ, Martin Klempa, Jindřich Šancer

1. Úvod a geologický rámec projektu GeoMAP 15
Sylvi Hädecke, Axel Rommel
2. 3D podzemní model revíru Lugau / Oelsnitz přehodnocení a aktualizace na základě aktuálních problémů po ukončení těžby 36
Sylvi Hädecke, Ralf A. Oeser, Axel Rommel, Maria Ussath, Mathias Hübschmann
3. Numerická simulace zdvihu terénu vyvolaného zaplavením na příkladu bývalé černouhelné oblasti Lugau / Oelsnitz 57
Fabian Weber, Gunther Lüttschwager, Heinz Konietzky
4. Doporučení pro opatření v geotechnických otázkách post-hornické krajiny na základě numerických simulací problémů po těžbě v rámci projektu GeoMAP 80
Fabian Weber, Heinz Konietzky
5. Prezentační objekt LP a PP1a: Důsledky těžby v uhelném re-víru Lugau / Oelsnitz - prezentace mediální stanice 101
Axel Rommel, Sylvi Hädecke, Fabian Weber
6. Vyřazené doly jako regenerativní zdroj energie 112
Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Thomas Grab, Tobias Fieback
7. Výzvy a příležitosti v post hornické krajině Mostecké uhelné pánve 136
Jiří Mališ, Martin Klempa, Jindřich Šancer
8. Workshopy a odborné konference 155
Sylvi Hädecke, Axel Rommel, Fabian Weber, Lukas Oppelt, Jiří Mališ
9. Síťování v projektu GeoMAP 184
Sylvi Hädecke, Axel Rommel, Fabian Weber, Lukas Oppelt, Jiří Mališ

Aktualisierung des 3D-Untergrundmodells

Lead Partner (LP)

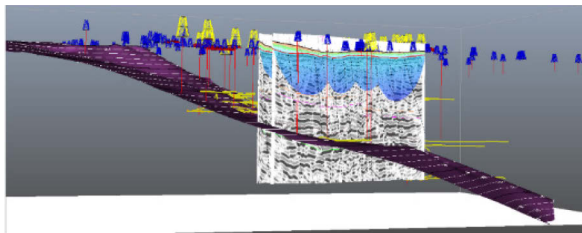
Herausforderungen und Ziele:

Spätfolgen des Bergbaus wie etwa Wasseraustritte an der Tagesoberfläche und Vernässungen werden für das ehemalige Steinkohlenbergbaurevier Lugau/Oelsnitz auf Grundlage einer 2007 erstellten Modellierung für 2032 prognostiziert. Ziel des LP ist es, die Datengrundlage für die Modellierung zu aktualisieren und die im Projekt erworbenen Erfahrungen an Wissenschaft, Wirtschaft und Öffentlichkeit weiterzugeben.

Die Modellierung erfolgt mithilfe der 3D-Software GOCAD, die im Freistaat Sachsen bereits vielfach für komplexe, geologische Fragestellungen angewendet wird. Im Unterschied zum Ausgangsmodell sollen im hier erstellten Modell 3D-Flözkörper die geologischen Formationen und das Grubengebäude ergänzen und eine gesicherte Prognose des Grund- und Grubenwasseranstiegs im ehemaligen Steinkohlenrevier Lugau/ Oelsnitz ermöglichen.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Auf Grundlage einer umfassenden Datenrecherche im sächsischen Bergarchiv und anderen Bohrarchiven soll ein bereits bestehendes 3D-Untergrundmodell des bergbaubeeinflussten Bereiches der Region aktualisiert und weiterentwickelt werden.



Aktualizace 3D modelu podloží

Lead Partner (LP)

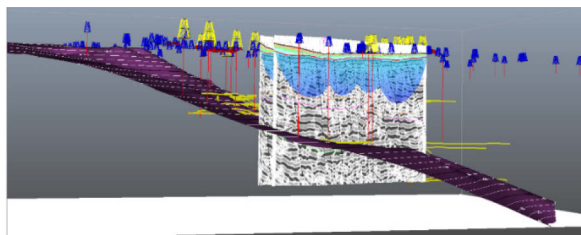
Výzvy a cíle:

Dlouhodobé důsledky těžby, jimiž jsou čerpání důlní vody na povrch a jeho zaplavování, by se podle modelu z roku 2007 měly projevit v bývalé černouhelné těžební oblasti Lugau / Oelsnitz v roce 2032. Cílem LP je aktualizace databáze pro modelování a předávání projektem získaných zkušeností vědě, obchodu a veřejnosti.

Obsah a zaměření práce:

Na základě komplexního datového výzkumu v Saském hornickém archivu a v dalších archivech vrtů je třeba aktualizovat a dále rozvíjet již existující 3D podzemní model podloží posttěžební oblasti. Modelování se provádí pomocí 3D softwaru GOCAD, který je v Sasku často používán pro řešení složitých geologických problémů.

Na rozdíl od původního modelu by v aktualizované verzi modelu měla prostorová tělesa sloje doplňovat geologické útvary a důlní díla a umožňovat tak spolehlivou předpověď stoupání hladiny podzemní vody a důlní vody v bývalém revíru Lugau / Oelsnitz.



Geomechanische Simulation von Hebungsprozessen

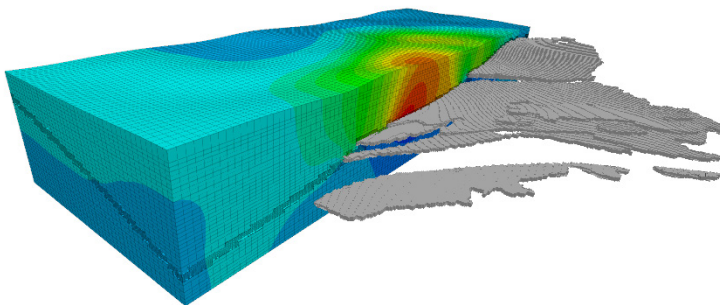
Projektpartner 1a (PP1a)

Herausforderungen und Ziele:

Anhand der aktualisierten Datengrundlage für das ehemalige Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz ist, aufgrund des Grubenwasseranstiegs im Revier, eine numerische Berechnung und qualitative Prognose zu Hebungsraten an der Geländeoberkante durchzuführen. Aus den Erkenntnissen der numerischen Berechnungen werden „Handlungsempfehlungen zu geotechnischen Fragestellungen von Bergbaufolgelandschaften“ erarbeitet.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Im Vordergrund steht die Erstellung eines angepassten, dreidimensionalen numerischen Modells des Reviers Lugau/Oelsnitz. Daran schließt sich die Entwicklung eines kontinuumsmechanischen, elastischen Berechnungsansatzes an. Dieser muss sich für Bergwerke des Altbergbaus mit begrenzten geomechanischen und hydraulischen Informationen eignen. Die Hauptherausforderungen sind dabei die Datenaufbereitung, die vereinfachende Erstellung der Abbaugeometrie und die Erarbeitung hebungsrelevanter Mechanismen.



Geomechanická simulace deformačních procesů

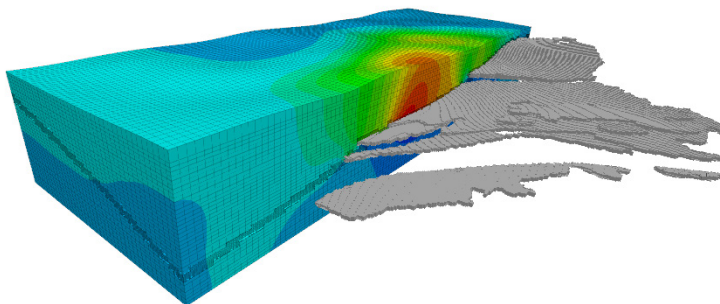
Projektový partner 1a (PP1a)

Výzvy a cíle:

Na základě aktualizované databáze pro bývalou těžební černouhelnou oblast Lugau / Oelsnitz je třeba provést numerický výpočet a kvalitativní prognózu míry deformací povrchu terénu kvůli stoupání hladiny důlní vody v této oblasti. Ze zjištění numerických výpočtů vycházejí „Doporučení pro opatření v geotechnických otázkách souvisejících s post-těžební krajinou“.

Obsah a zaměření práce:

Důraz je kladen na vytvoření upraveného trojrozměrného numerického modelu revíru Lugau / Oelsnitz. Poté následuje vývoj kontinuálního mechanického an elastického výpočtu. Ten musí být vhodný pro stará důlní díla s omezenými geomechanickými a hydraulickými informacemi. Hlavními výzvami jsou zpracování dat, tvorba zjednodušené geometrie důlních děl a vývoj mechanismů souvisejících s deformací povrchu.



Grubenwasser als Energiequelle

Projektpartner 1b (PP1b)

Herausforderungen und Ziele:

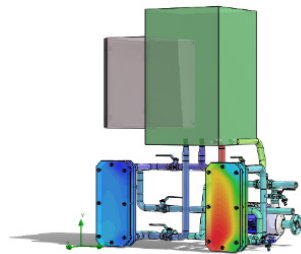
Nach der Stilllegung werden Bergwerke oft geflutet. Dieses Grubenwasser bietet Potenziale zur energetischen Nutzung. Aufgrund eines ganzjährig nahezu konstanten Temperaturniveaus, kann es zum Heizen und Kühlen von einzelnen Gebäuden oder ganzen Quartieren eingesetzt werden. Durch im Grubenwasser mitgeführte Frachten können jedoch Ablagerungen in Anlagenbauteilen entstehen, wodurch die Effizienz sinkt. Ein wesentliches Ziel ist deshalb diese Verunreinigungen zu untersuchen und mögliche Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Ein weiteres Ziel ist die internationale Netzwerkbildung und der Informationsaustausch.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Aufbauend auf den Ergebnissen aus VODAMIN II soll ein mobiler Wärmepumpenversuchsstand entwickelt werden. Mit diesem können bestehende Untersuchungen ausgebaut und ergänzt werden. Durch die mobile Anlage können Untersuchungen und Optimierungen von Betriebsparametern unabhängig von Anlagenbetreibern an verschiedenen Bergbaustandorten durchgeführt werden. Neben Workshops und einer Fachkonferenz zum gegenseitigen Austausch von Erkenntnissen wurde in Zusammenarbeit mit Umweltfachverbänden ein anerkanntes Zusatzzertifikat für Studierende der TU Bergakademie entwickelt.



Foto: B. Wenzke



Důlní voda jako zdroj energie

Projektový partner 1b (PP1b)

Výzvy a cíle:

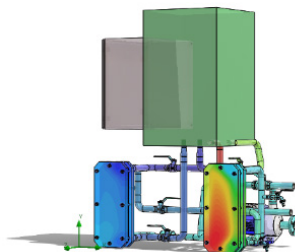
Po uzavření dolů dochází často k jejich zaplavení. Důlní voda však nabízí potenciál pro její energetické využití. Díky téměř konstantní teplotě po celý rok je možné ji použít k vytápění a chlazení jednotlivých budov nebo celých čtvrtí. Vzhledem k látkám rozpuštěným v důlní vodě však může v součástech systému docházet k jejich usazování a snižování účinnosti systému. Zásadním cílem je proto výzkum těchto látek a vývoj možných protopatření. Dalším cílem je vytváření mezinárodních sítí a výměna informací.

Obsah a zaměření práce:

Na základě výsledků projektu VODAMIN II bude vyvinuto mobilní testovací zařízení tepelného čerpadla. Díky tomu lze rozšířit a doplnit stávající výzkumy. Díky mobilnímu systému lze provádět šetření a optimalizaci provozních parametrů nezávisle na provozatelích systému v různých těžebních lokalitách. Kromě workshopů a odborné konference pro vzájemnou výměnu znalostí byl ve spolupráci s environmentálními asociacemi vyvinut uznávaný dodatečný certifikát pro studenty TU Báňské akademie.



Foto: B. Wenzke



Herausforderungen und Potentiale der Bergbaulandschaft im Moster Braunkohlenbecken

Projektpartner 2 (PP2)

Herausforderungen und Ziele:

Das Erzgebirge ist seit mehreren Jahrhunderten untrennbar mit dem Bergbau verbunden. Die Bergbauaktivität ist somit fest in die Geschichte der Region integriert und gehört zum wesentlichen Bestandteil der Kulturlandschaft in dem Gebiet. Da die Tschechische Republik in den kommenden Jahren den Kohleabbau einstellen wird, entstehen neue Probleme sowie Herausforderungen, die direkt und indirekt mit dem Rückgang der Bergbautätigkeit zusammenhängen. Ein Schwerpunkt der Bearbeitung liegt dabei in der Nutzung der Nachbergbaulandschaft und die damit verbundenen Möglichkeiten der wirtschaftlichen Verwendung. Eine rekultivierte Fläche kann etwa zu Erholungszwecken (z. B. See Most, der durch den Grundwasseranstieg entstanden ist) genutzt werden, weiterhin kann Grubenwasser mit seinem energetischen Potenzial (z. B. Nutzung des thermalen Potenzials von Grubenwasser in der Kohlen-Grube) verwendet werden.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Im Projekt sollen realitätsnahe Bedingungen zum Monitoring in Bergbaufolgelandschaften mit anschließender Interpretation der daraus resultierenden Ergebnisse in einem Feldlabor untersucht werden. Ein solches "lebendiges Labor", in dem man die Wiederherstellung der vom Bergbau betroffenen Landschaft und ihre Rückkehr zum ökologisch-kulturellen Gleichgewicht beobachten kann, wurde im Rahmen des Projektes im Gebiet des Nordböhmisches Braunkohlebeckens errichtet. Die im Rahmen des Projekts entstandene Infrastruktur (Feldlabor im Zentrum der Bergbaulandschaft, begleitende Lehrtexte) wird sowohl für das Langzeitmonitoring als auch für die Interpretation, Visualisierung und Popularisierung langfristig genutzt.



Foto: VŠB-TU Ostrava

Výzvy a příležitosti v post-těžební krajině Mostecké uhelné pánve

Projektový partner (PP 2)

Výzvy a cíle:

Krušnohoří je již po několik staletí nerozlučně spjato s hornictvím. Tento obor lidské činnosti se nesmazatelně zapsal do historie regionu a stal se nedílnou součástí přirozené kulturní krajiny. S tím jak Evropa a tedy i Česká republika pomalu ustupuje od těžby uhlí, objevují se nové problémy ale i výzvy, které s útlumem hornické činnosti přímo i nepřímo souvisí. Jde zejména o poznání chování horninového prostředí v post hornické krajině a s tím související možnosti ekonomického využití této krajiny ať už pro rekreační účely (např. hydriická rekultivace – jezero Most) anebo pro energetické využití důlních vod (např. hledání možností využití termálního potenciálu čerpaných vod na jámě Koh-i-nor).

Obsah a těžiště tématu:

Smyslem řešení milníků je vytvořit podmínky, které v reálních podmínkách post hornické krajiny umožní demonstrovat in-situ problematiku monitoringu a interpretace výsledků z něj. Takovou „živou laboratoří“ je právě oblast Mostecké uhelné pánve, kde se dá v reálném čase pozorovat výsledky procesu obnovy těžbou ovlivněné krajiny a jejího návratu do ekologicko kulturní rovnováhy. Infrastruktura, která v rámci projektu vznikla (polní laboratoř v centru hornické krajiny, doprovodné učební texty), bude mít dlouhodobé využití jak z hlediska dlouhodobého monitoringu, tak i z hlediska interpretace, vizualizace a popularizace.



Foto: VŠB-TU Ostrava

1. Einleitung und Geologischer Rahmen des Projekts GeoMAP

1. Úvod a geologický rámec projektu GeoMAP

Autoren | Autoři: Hädecke, S.¹, Rommel, A.¹

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

1.1 Was ist GeoMAP?

GeoMAP ist ein EU-Projekt im sächsisch-tschechischen Kooperationsprogramm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit und wird durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Das Projekt hat eine Laufzeit von Januar 2019 bis Juni 2021. Unter Leadpartnerschaft des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) wurde das Projekt gemeinsam mit den Projektpartnern TU Bergakademie Freiberg und TU Ostrava initiiert. Unter dem Titel „Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen“ wurden von den Partnern in drei Modellregionen (Abbildung 1-1) unterschiedliche Arbeitsschwerpunkte bearbeitet:

- Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz: Diese Modellregion wird durch den Leadpartner LfULG (LP) und den Projektpartner TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, (PP1a) bearbeitet.

1.1. Co je GeoMAP?

GeoMAP je projektem EU v sasko-českém kooperačním programu podpory přeshraniční spolupráce a je financován z Evropského fondu pro regionální rozvoj (ERDF). Projekt probíhá od ledna roku 2019 do června roku 2021. Partnerský projekt pod vedením Zemského úřadu pro životní prostředí, zemědělství a geologii (LfULG) byl zahájen společně s dalšími partnery TU Báňskou akademií ve Freibergu a Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou Ostrava (TU Ostrava). Pod názvem „Nástroje geologického, hydrogeologického a geomechanického modelování, vizualizace a predikce pro znázornění důsledků těžby a potenciálu opětovného použití“ pracovali partneři na různých prioritách ve třech modelových regionech (obrázek 1-1):

- Uhelny revír Lugau/Oelsnitz: Tento modelový region je zpracováván vedoucím partnerem LfULG (VP) a projektovým partnerem TU Báňskou akademií ve Freibergu, Institutem pro geotechniku (PP1a).

- Bergbaureviere im Erzgebirge mit Zugang zum Grubengebäude und vorhandenem Grubenwasser: Diese übergreifende Modellregion wird durch den Projektpartner TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, (PP1b) bearbeitet.
- Braunkohlenrevier Most in Nordböhmen: Diese Modellregion wird durch den Projektpartner TU Ostrava (PP2) bearbeitet.
- Hornické revíry v Krušných horách s přístupem do dolu a dostupnou důlní vodou: V této zastřešující modelové oblasti pracuje partner projektu TU Báňská akademie Freiberg, Ústav pro tepelné inženýrství a termodynamiku (PP1b).
- Severočeský hnědouhelný revír v oblasti Mostecka: Tento modelový region je zpracováván partnerem projektu TU Ostrava (PP2).

Das Projekt *GeoMAP* dient weiterhin dem Erfahrungsaustausch über geowissenschaftliche Methoden und Modellierungen für weitumfassende Betrachtungen in Bergbau- und Bergbaufolgegebieten. So sind die in den Modellregionen gewonnenen Erkenntnisse auch auf andere Bergbaugebiete übertragbar.

Projekt *GeoMAP* slouží také k výměně zkušeností s geovědními metodami a modelací pro rozsáhlá pozorování v oblastech těžby a post-těžebních oblastech. Tímto způsobem lze znalosti získané v modelových regionech přenést i do dalších těžebních oblastí.

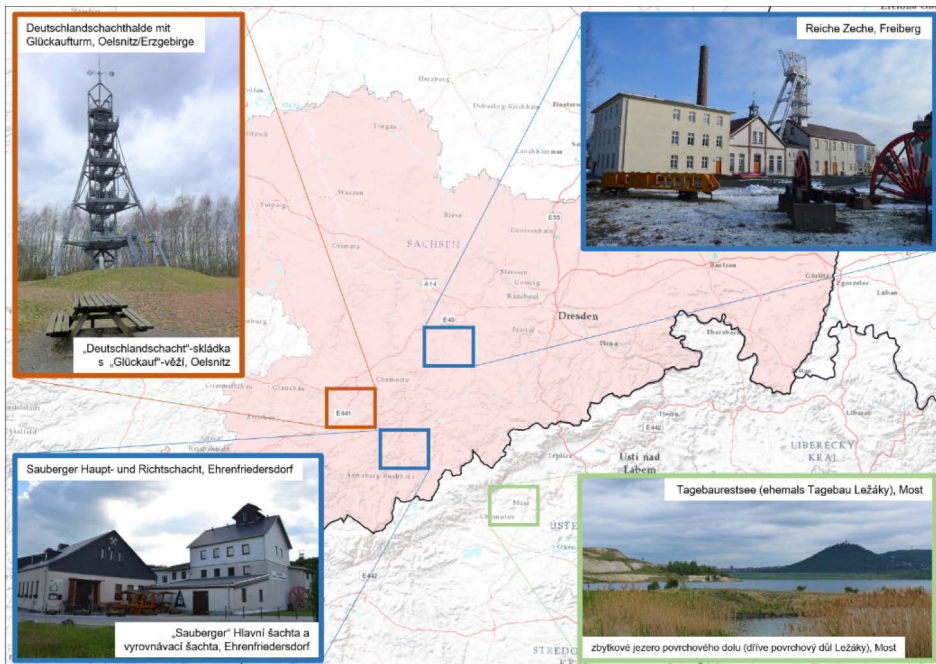


Abbildung 1-1: Lage der einzelnen Arbeitsgebiete im Projekt GeoMAP. Der LP und der PP1a bearbeiten unterschiedliche Schwerpunkte im Raum Lugau/Oelsnitz (brauner Kasten), der PP1b arbeitet in den Gebieten Freiberg/Brand-Erbisdorf und Ehrenfriedersdorf (blaue Kästen) und der PP2 untersucht das Gebiet im Raum Most (grüner Kasten). Der Freistaat Sachsen ist zur räumlichen Orientierung farbig hervorgehoben. Fotos: oben links und unten rechts S. Hädecke, unten links und oben rechts B. Wenzke.

Obrázek 1-1: Umístění jednotlivých pracovních oblastí v projektu GeoMAP. LP a PP1a pracují na různých prioritách v oblasti Lugau/Oelsnitz (hnědý rámeček), PP1b pracuje v oblastech Freiberg / Brand-Erbisdorf a Ehrenfriedersdorf (modré rámečky) a PP2 zkoumá oblast v regionu Mostu (zelený rámeček). Svobodný stát Sasko je pro prostorovou orientaci barevně zvýrazněn. Foto: vlevo nahoře a vpravo dole S. Hädecke, vlevo dole a vpravo nahoře B. Wenzke.

1.2. Die GeoMAP-Arbeitspakete

GeoMAP hat das Ziel, die Netzwerkarbeit zwischen Verwaltung, Wissenschaft und den von Bergbaufolgen betroffenen Kommunen in den Projektgebieten zu stärken und zudem die Öffentlichkeit über nachbergbauliche Herausforderungen und ihre Bewältigung zu informieren. Die Umsetzung dieser Ziele wurde in vier Arbeitspaketen realisiert: Die Partnerworkshops (AP 1) (Kapitel 8) dienten dem direkten Erfahrungsaustausch zwischen den Institutionen der Projektpartner, wobei jeder Partner am Beispiel seines Modellgebietes für ein spezielles Schwerpunktthema verantwortlich war. In öffentlichen Fachkonferenzen (AP 2) (Kapitel 8) wurden auch Erkenntnisse aus anderen Bergbaulandschaften Deutschlands und Tschechiens integriert. Zur weiteren Veranschaulichung und im Sinne der Nachhaltigkeit des Projektes erarbeitete jeder Projektpartner weiterhin ein Anschauungsobjekt (AP 3) (Kapitel 5, 6 und 7), welches wesentliche Problemstellungen seiner Modellregion erläutert und visualisiert. Diese Objekte werden nach Ablauf des Projektes an zentralen Standorten dauerhaft ausgestellt und als Information für die Öffentlichkeit genutzt. Die Netzwerkarbeit (AP 4) dient der Fortführung der Zusammenarbeit (Kapitel 9).

1.2. Pracovní balíčky GeoMAP

GeoMAP si klade za cíl posílit síť mezi státní správou, vědou a komunitami zasaženými v projektových oblastech důsledky těžby a také informovat veřejnost o post-těžebních výzvách a možnostech, jak se s nimi vypořádat. Uskutečnění těchto cílů bylo realizováno ve čtyřech pracovních balíčcích: Partnerské workshopy (AP 1) (kapitola 8) sloužily k přímé výměně zkušeností mezi institucemi projektových partnerů, přičemž každý partner byl odpovědný za téma zaměřené zvláště na příklad své modelové oblasti. Na veřejných odborných konferencích (AP 2) (kapitola 8) byly také integrovány poznatky z jiných hornických oblastí v Německu a České republice. Pro ilustraci a ve smyslu udržitelnosti projektu vyvinul zároveň každý projektový partner ukázkový objekt (AP 3) (kapitola 5, 6 a 7), sloužící pro vysvětlování a vizualizaci zásadních problémů v jejich modelové oblasti. Po skončení projektu budou tyto objekty trvale zpřístupněny na centrálních místech a budou sloužit pro informování veřejnosti. Práce v síti (AP 4) slouží k pokračování spolupráce (kapitola 9).

1.3. Vorgängerprojekte

GeoMAP gingen einige andere, von der europäischen Union geförderte Projekte mit ähnlichen inhaltlichen Schwerpunkten voraus, auf deren Ergebnisse und gewonnene Expertise aufgebaut werden konnte:

VODAMIN - Verbesserung der Wasser-güte in Bergbaugebieten erstreckte sich über den Zeitraum von 2011 bis 2014. In diesem Projekt wurden Beiträge zu den Themenkomplexen Grubenwasseranstieg, Untersuchungen von Grund- und Oberflächenwasser sowie Reinigung bergbaubeeinflusster Wässer geleistet. Für die Region Lugau/Oelsnitz als eine der Schwerpunktregionen in *VODAMIN* konnten umfangreiche Erkenntnisse zur Geologie und Chemie der Grubenwässer gewonnen werden, aus denen der weitere Handlungsbedarf für die dortigen Bergbauhinterlassenschaften abgeleitet wurde.

Das Folgeprojekt *VODAMIN II* von 2016 bis 2020 fokussierte auf den Schutz der Qualität des Oberflächen- und Grundwassers, wobei auf die Erfahrungen und Schlussfolgerungen aus *VODAMIN* Bezug genommen wurde. Neben dem Schadstoffpotenzial spielte das Nutzungspotenzial von Bergbaugewässern eine Rolle. Letzteres Thema wurde in *GeoMAP* durch

1.3. Předchozí projekty

Projekt *GeoMAP* předcházela řada dalších projektů financovaných Evropskou unií s podobnými tematickými prioritami, na jejichž výsledcích a odborných znalostech lze stavět:

Projekt *VODAMIN - zlepšení kvality vody v těžebních oblastech* byl řešen v období let 2011 až 2014. V rámci tohoto projektu byly příspěvky věnovány tématům stoupání důlní vody, zkoumání podzemních a povrchových vod a čištění vody ovlivněné těžbou. Pro region Lugau/Oelsnitz, aby jeden z klíčových regionů projektu *VODAMIN*, byly získány rozsáhlé znalosti geologie a chemie důlní vody, z čehož vyplynula potřeba dalších opatření pro řešení tamních následků těžby.

Navazující projekt *VODAMIN II*, probíhající v letech 2016 až 2020, se zaměřil na ochranu kvality povrchových a podzemních vod s odkazem na zkušenosti a závěry z projektu *VODAMIN*. Kromě výzkumu potenciálu znečišťujících látek, byl zaměřen také na možnost využití důlních vod. Toto téma bylo znovu převzato a dále sledováno v projektu *GeoMAP TU Báňskou akademií Freiberg*.

V projektu *Vita-Min - život s těžbou (2016 až 2021)* bylo zkoumáno

die TU Bergakademie Freiberg wieder aufgegriffen und weiterverfolgt.

In *Vita-Min – Leben mit dem Bergbau (2016 bis 2021)* wurden Gewässerbelastungen durch den Bergbau und daraus resultierende Konflikte identifiziert sowie Lösungsmöglichkeiten im Sanierungsbergbau sowie Vermeidungsstrategien im aktiven Bergbau umgesetzt. *Vita-Min* war Teil des LfULG-Leitprojekts "Für saubere Gewässer in Sachsen". Lugau/Oelsnitz und das tschechische Braunkohlegebiet Most waren dabei zwei der Schwerpunktregionen in *Vita-Min*.

1.4. Geographische und geologische Einordnung der Modellregionen

Das Projekt GeoMAP umfasst mehrere Arbeitsgebiete im Raum Freistaat Sachsen-Tschechische Republik. In Sachsen liegen die verschiedenen Untersuchungsgebiete am Nordrand des zu den Mittelgebirgen zählenden Erzgebirges (Krušné hory). Nach Norden schließt sich das Nordsächsische Hügelland an.

Das Erzgebirge setzt sich aus verschiedenen Gesteinseinheiten zusammen, die 1. durch regionalmetamorphe Überprägung gekennzeichnet sind und einen komplizierten Deckenbau aufweisen (z.B. Tichomirowa 2003) und 2. von variszischen Intrusionen durchzogen werden (Sebastian 2013).

zrnečištění vody následkem těžby a z toho plynoucí problémy, zároveň byla uskutečněna možná řešení v sanaci těžby i strategie „prevence znečištění“ v aktivní těžbě. Projekt Vita-Min byl součástí hlavního projektu LfULG „Za čisté vody v Sasku“. Region Lugau/Oelsnitz a český hnědouhelný region Most byly dvěma z klíčových regionů projektu Vita-Min.

1.4. Geografická a geologická klasifikace modelových regionů

Projekt GeoMAP zahrnuje několik pracovních oblastí na územích Svobodného státu Sasko a České republiky. V Sasku jsou tyto oblasti na severním okraji pohoří Krušných hor, které zde přecházejí do Severosaské vrchoviny.

Krušné hory se skládají z různých horninových jednotek, které jsou jednak postiženy regionální metamorfózou a zároveň mají komplikovanou příkrovovou strukturu (např. Tichomirowa 2003) a jednak jimi pronikají variské intruze (Sebastian 2013). Z hlediska regionálně geologického jednotka patří do východní části variské antiklinální zóny Smrčiny (Fichtelgebirge) -

Die regionalgeologische Einheit gehört zum östlichen Teil der variszisch angelegten Fichtelgebirgs-Erzgebirgs-Antiklinalzone. Über älteren cadomischen Gesteinseinheiten (Ortho- und Paragneise, Amphibolithe, (Lorenz & Hoth 1990) bzw. Metagranodiorite und Metagrauwacken, (Mingram & Rötzler 1999) liegen unterschiedlich zusammengesetzte und überschobene Decken. Sie bestehen überwiegend aus Gneisen aber auch aus anderen metamorphen Gesteinen, wie Phylliten, Glimmerschiefern, Amphiboliten und Eklogiten (Mingram & Rötzler 1999; Sebastian 2013). Der strukturelle Aufbau des Erzgebirges kennzeichnet es als typisches Subduktions-Orogen.

Im Zeitraum des Oberkarbons intrudierten verschiedene Plutone im Erzgebirges. Während der Intrusion entstanden in mehreren Phasen subvulkanische Körper, an denen u.a. auch mineralische Lagerstätten gebunden sind (Sebastian 2013).

Das Gebiet des Erzgebirges wird von mehreren, etwa orthogonal (rechtwinklig) stehenden Störungssystemen durchzogen. An solch tiefreichenden Störungszonen sind unter anderem auch lagerstättenbildende Mineralisationen und der Aufstieg seltener thermaler Tiefenwässer (Warmbad, Thermalbad Wiesenbad) gebunden. Diese

Krušné hory. Na starších kadomských horninových jednotkách (orogeneze a parageneze, amfibolity, (Lorenz & Hoth 1990) popř. meta granodiority a meta pískovce, (Mingram & Rötzler 1999) leží překrývající se příkrovy odlišného složení. Skládají se převážně z ruly, ale také z dalších metamorfovaných hornin, jako jsou fylity, svory, amfibolity a eklogity (Mingram & Rötzler 1999; Sebastian 2013). Strukturní stavba Krušných hor je charakterizována jako typický subdukční orogén.

Během období svrchního karbonu intrudovala do oblasti Krušných hor tělesa různých plutonů. Během intruzí byla v několika fázích formována subvulkanická tělesa, ke kterým jsou mimo jiné vázána ložiska minerálů (Sebastian 2013).

Oblast Krušných hor protíná několik, přibližně ortogonálních (pravouhlých) poruchových systémů. Tyto hluboce zasahující zlomové zóny jsou mimo jiné spojeny s výstupy hluboce založených termálních vod (Warmbad, Wiesenbadské termální lázně) a s doprovodnou mineralizací. Zlomy mohou dále působit jako současné linie pohybu podzemních vod (např. Kämpf et al. 1989).

Strukturně mají Krušné hory ve směru SV-JZ výraznou variskou stavbu a, z ge-

können weiterhin als rezente Bewegungslinien des Grundwassers wirken (z.B. Kämpf et al. 1989).

Das Erzgebirge weist strukturell eine Nordost-Südwest-streichende, variszische Architektur auf und – aus geomorphologischer Sicht betrachtet – eine asymmetrische Form, welche nach Nordwesten hin allmählich, nach Südosten jedoch rasch abfällt. Dieser markante Geländesprung im Südosten wird als Erzgebirgsabbruch bezeichnet und tritt östlich der deutsch-tschechischen Grenze auf. Östlich des Erzgebirgsabbruchs erstreckt sich eine beckenförmige Vertiefung, die als Nordböhmisches Becken bezeichnet wird und ein Teil des viel größeren Böhmisches Beckens ist. Das Nordböhmisches Becken liegt im Egergraben, welcher parallel zur Abbruchkante des Erzgebirges verläuft.

Einen stilisierten Schnitt durch das Erzgebirge zeigt Abbildung 1-2 In diesem ist auch die Lage der einzelnen Arbeitsgebiete zu erkennen. In Tabelle 1-1 ist weiterhin eine Übersicht der verschiedenen Arbeitsgebiete des Projektes GeoMAP dargestellt.

omorfologického hlediska, asymetrický tvar, který se jen postupně svažuje směrem na severozápad, ale rychle klesá na jihovýchod. Tento výrazný terénní skok na jihovýchodě známý jako Erzgebirgsabbruch se nachází východně od německo-české hranice. Na východ od tohoto místa se táhne pánevní prohlubeň, známá jako Severočeská pánev a je součástí mnohem větší České tabule. Severočeská pánev leží v oherském tektonickém příkopu, který vede rovnoběžně s okrajem Krušných hor.

Na obrázku 1-2 je vidět stylizovaný řez Krušnými horami, který také ukazuje situování jednotlivých pracovních oblastí. Tabulka 1-1 také ukazuje přehled různých oblastí práce projektu GeoMAP.

Tabelle 1-1: Arbeitsgebiete der GeoMAP-Projektpartner.

Tabulka 1-1: Oblasti činnosti partnerů projektu GeoMAP.

Projektpartner Projektový partner	Arbeitsgebiet Oblast činnosti	Geographie Geografie	Themengebiet Oblast předmětu
LP: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)	Lugau/Oelsnitz im Erzgebirge	Nordrand Erzgebirge	Datenrecherche und Geologisches Strukturmodell
LP: Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii	Lugau/Oelsnitz v Krušných horách	Severní okraj Krušných hor	Datové rešerše a geologický strukturový model
PP1a: TU BAF - Institut für Geotechnik	Lugau/Oelsnitz im Erzgebirge	Nordrand Erzgebirge	Numerische Hebung-Modellierung
PP1a: TU BAF - Institut geotechniky	Lugau/Oelsnitz v Krušných horách	Severní okraj Krušných hor	Numerické modelování zdvihu
PP1b: TU BAF - Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik	Freiberg	Nordrand Erzgebirge	Geothermische Nutzung von Grubenwässern
	Ehrenfriedersdorf	Erzgebirge	
PP1b: TU BAF - Institut tepelného inženýrství a termodynamiky	Freiberg	Severní okraj Krušných hor	Geotermální využití důlní vody
	Ehrenfriedersdorf	Krušné hory	
PP2: TU Ostrava - Institut für saubere Technologien im Bergbau und der Verwertung von Energierohstoffen	Most	Nordböhmisches Becken	Monitoring der Tagebaulandschaft und des Restsees
PP2: TU Ostrava - Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin	Most	Severočeská pánev	Monitoring povrchové těžební krajiny a zbytkového jezera

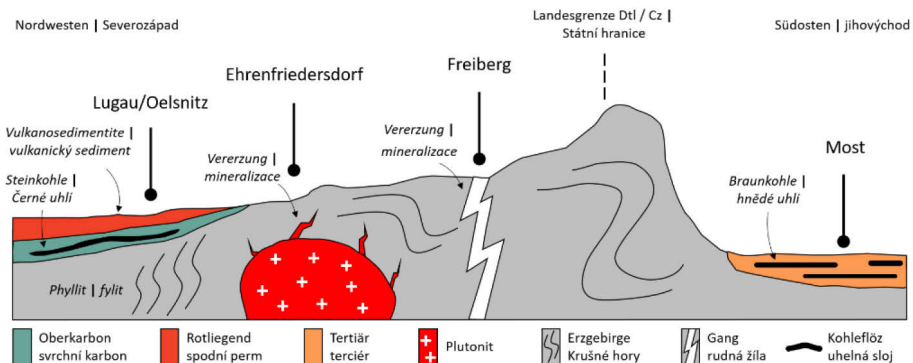


Abbildung 1-2: Vereinfachter und stilisierter Profilschnitt durch das Erzgebirge.

Obrázek 1-2: Zjednodušená a stylizovaná profilová část Krušných hor.

Nachfolgend werden die geologischen Besonderheiten den verschiedenen Arbeitsgebieten zugeordnet.

V následujícím textu je popsána geologie jednotlivých pracovních oblastí.

Ehemaliges Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz (LP und PP1a)

Bývalý těžební revír Lugau/Oelsnitz (LP a PP1a)

Das Bergbaurevier Lugau/Oelsnitz liegt am Nordwestrand des Erzgebirges am Übergang zum Chemnitz Becken zwischen den Städten Chemnitz im Nordosten und Zwickau im Südwesten im Erzgebirgskreis. Die geologische Situation in diesem Arbeitsgebiet ist durch ein über 1000 Meter mächtiges Deckgebirge charakterisiert, welches diskordant niedriggradige Phyllite des variszischen Grundgebirges überlagert (z.B. Wolf et al. 2008). Das Deckgebirge wird hierbei vorwiegend aus klastischen Sedimenten, Pyroklastiten und Vulkaniten des

Hornická oblast Lugau/Oelsnitz se nachází na severozápadním okraji Krušných hor při přechodu do Chemnitzské pánve mezi městy Chemnitz na severovýchodě a Zwickau na jihozápadě Krušných hor. Geologická situace této oblasti je charakterizována přes 1000 metrů mocným sedimentárním pokryvem, překrývajícím diskontinuálně fylity variského podloží (např. Wolf et al. 2008). Pokryv tvoří převážně klastické sedimenty, pyroklastika a rotliegendské vulkanity (spodního permu), které odděleny erozní bází pokrývají uhoelné vrstvy svrchního karbonu (stupně westfal).

Rotliegenden (Unteres Perm) aufgebaut, die durch eine erosive Schichtlücke getrennt die steinkohleführenden Schichten des Oberkarbons (Westfalium) überdecken. Jüngere Schichten des Quartärs sind von untergeordneter Bedeutung. Durch das Auftreten von Steinkohle waren historisch vor allem die oberkarbonen Schichten von hohem wirtschaftlichen Interesse, die in dem Gebiet seit 1844 obertägig, später (ab 1859) dann untertägig abgebaut wurden. Anhand von Bohrungen und Abbauschächten kann eine durchschnittliche Gesamtmächtigkeit des Oberkarbons von ca. 170 m im Raum Lugau/Oelsnitz angenommen werden (Wolf et al. 2008). Die oberkarbonen Schichten fallen dominant nach Nordwesten ein, wobei der nördliche Bereich von bis zu 1200 m mächtigen Sedimenten und Vulkaniten aus dem Rotliegend überlagert werden (z.B. Felix et al. 2007). Da das Oberkarbon am Übergang zum Hangenden als Erosionsoberfläche ausgebildet ist, kann die ursprüngliche Ausdehnung der Senke nach Norden und Westen hin nicht genau ermittelt werden. Aus dieser Beobachtung hat u.a. Hoth (1984) abgeleitet, dass in der Zeit des Oberkarbons die einzelnen Teilsenken, in denen sich die Kohleablagerungen bildeten, durch flächenhaft auftretende Schuttfächer abgetrennt voneinander existierten. Dies würde auch die schwierige Korrelation mit

Nejmladší vrstvy kvartéru mají menší význam. Vzhledem k výskytu černého uhlí se těžily historicky velkému ekonomickému zájmu zejména vrstvy svrchního karbonu, které se v oblasti těžily od roku 1844 povrchově a později (od roku 1859) hlubinným způsobem. Na základě vrtů a hlubinných dolů lze odhadovat průměrnou celkovou mocnost svrchního karbonu v oblasti Lugau/Oelsnitz přibližně na 170 m (Wolf et al. 2008). Svrchně karbonické vrstvy upadají převážně severozápadním směrem, přičemž severní oblast pokrývají sedimenty a rotgliedenské vulkanické horniny o mocnosti až 1200 m (např. Felix et al. 2007). Jelikož svrchní visé při přechodu na úbočí tvoří erozní povrch, nelze přesně určit původní rozsah prohlubně na severu a západě. Z tohoto pozorování vyvodil mimo jiné Hoth (1984), že v době svrchního karbonu existovaly jednotlivé od sebe oddělené dílčí prohlubně, ve kterých se vytvářelo uhlí. To by také vysvětlovalo obtížnou korelaci s různými vrstvami na západě hraničícími se dílčím povodím Zwickau – Mülsener.

Ve stupni visé karbonu následují rotgliedenské vulkanické sedimentární horniny, které jsou stratigraficky rozděleny na formace Härtensdorf, Planitz, Leukersdorf a Mülsen (obrázek 1-3). Především planitzská formace vykazuje nejintenzivnější vulkanickou

den verschiedenen Flözen aus der westlich angrenzenden Zwickau–Mülsener Teilsenke erklären.

Im Hangenden des Karbons folgen vulkano-sedimentäre Gesteine aus dem Rotliegend, die stratigraphisch in Härtensdorf-, Planitz-, Leukersdorf- und Mülsen-Formation unterteilt werden (Abbildung 1-3). Vor allem die Planitz-Formation zeigt dabei die intensivste vulkanische Aktivität an (Fischer 1991). Aus den Beobachtungen unter Tage ist bekannt, dass die Härtensdorf- und Planitz-Formation sowie die untere Leukersdorf-Formation überwiegend als Grundwasserstauer fungieren. Abseits von vereinzelt vorkommenden, wasserführenden Störungen sind daher keine durchgehenden Wasserwegsamkeiten anzunehmen. Lokale grundwasserführende Bereiche können jedoch auftreten (Felix et al. 2007). Aufgrund der geringen Anzahl von Bohrungen im Untersuchungsgebiet und dem hohen Aufwand beim Erkunden von wasserführenden Störungen, ist eine genaue Lokalisierung dieser jedoch nicht ohne weiteres möglich.

Das Revier Lugau/Oelsnitz wird von einer intensiven Zerrungstektonik dominiert, wodurch komplizierte Lageverhältnisse innerhalb der Flöze auftreten. Laut Wolf et al. (2008) treten vor allem post-karbonische, NW-SE streichende Störungen auf, wobei

aktivitu (Fischer 1991). Z podzemních pozorování je známo, že formace Härtensdorf a Planitz i dolní formace Leukersdorf fungují hlavně jako rezervoár podzemní vody. Kromě občasných narušení transportu vody nelze očekávat žádné souvislé vodní cesty. Mohou se však vyskytnout místní kolektory nesoucí podzemní vodu (Felix et al. 2007). Vzhledem k malému počtu vrtů v oblasti průzkumu a k velkému úsilí při zkoumání vodonosných poruch je však není možné přesně lokalizovat.

V revíru Lugau/Oelsnitz dominuje intenzivní deformační tektonika, která vede ke komplikovaným podmínkám ve vrstvách sedimentárních usazenin. Podle Wolfa et al. (2008) se vyskytují zejména post-karbonické, trendové dislokace NW-SE, přičemž trendové dislokace NE-SW se vyskytují již od karbonu. Geologické jednotky přemístěné podél těchto zlomových zón vykazují vertikální posun až do výšky 350 m (Fischer 1991).

Shrnutο, oblast Lugau/Oelsnitz se vyznačuje velkými hloubkami těžby, složitými tektonickými poruchami a velkým počtem hydraulicky účinných geologických a hydrogeologických jednotek a struktur.

Partneři projektu LP a PP1a pracují na různých aspektech problematiky bývalého revíru Lugau/Oelsnitz. LP se

NE-SW verlaufende Störungen bereits seit dem Karbon vorkommen. Die geologischen Einheiten wurden entlang dieser Störungzonen um Beträge von bis zu 350 m versetzt (Fischer 1991).

Zusammengefasst ist das Revier Lugau/Oelsnitz durch die großen Abbauteufen, komplexe tektonische Störungen und eine Vielzahl hydraulisch wirksamer geologischer und hydrogeologischer Einheiten und Strukturen gekennzeichnet.

Die Projektpartner LP und PP1a bearbeiten unterschiedliche Aspekte des ehemaligen Steinkohlenreviers Lugau/Oelsnitz. Der Schwerpunkt des LP liegt auf der Datenrecherche und der Aktualisierung des geologischen Strukturmodells (Kapitel 2), PP1a betrachtet wiederum die durch Grubenwasseranstieg verursachten Hebungen im Gebiet anhand von numerischen Modellierungen (Kapitel 3).

zaměřuje na datový výzkum a aktualizaci geologického strukturálního modelu (kapitola 2), PP1a zase posuzuje změny reliéfu terénu v oblasti způsobené stoupáním hladiny podzemní vody pomocí numerického modelování (kapitola 3).

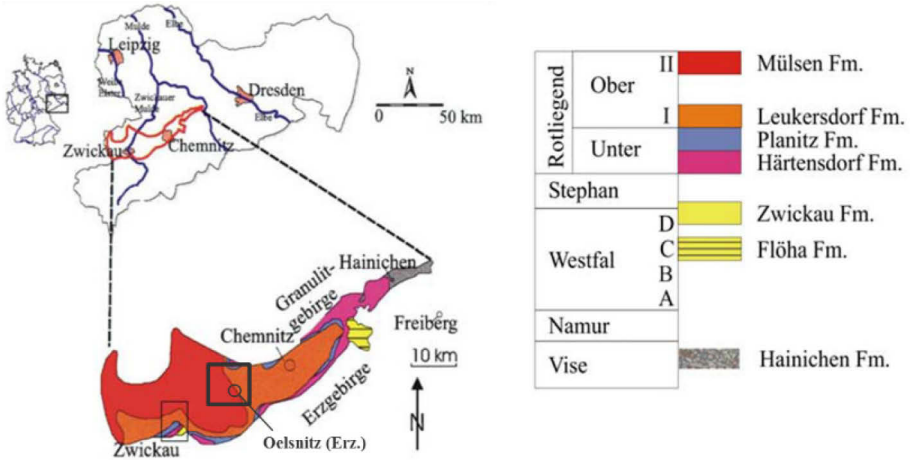


Abbildung 1-3: Links: Lage des Untersuchungsgebiets Lugau/Oelsnitz (schwarzes Rechteck) im Chemnitz Becken. Rechts: Stratigraphische Gliederung der im Bereich Lugau/Oelsnitz auftretenden Gesteinseinheiten (verändert nach Lange 1998).

Obrázek 1-3: Vlevo: Umístění studijní oblasti Lugau/Oelsnitz (černý rámeček) v povodí Kamenice. Vpravo: Stratigrafická struktura horninových jednotek vyskytujících se v oblasti Lugau/Oelsnitz (upraveno Langem 1998).

Geothermische Nutzung von Grubenwässern in Freiberg und Ehrenfriedersdorf (PP1b)

In Sachsen liegen zwei weitere vom Altbergbau geprägte Arbeitsgebiete des Projekts GeoMAP: Freiberg mit Brand-Erbisdorf im Landkreis Mittelsachsen und Ehrenfriedersdorf im Erzgebirgskreis. Beide Gebiete gehören zur regionalgeologischen Einheit des Erzgebirges. Der Schwerpunkt der Bearbeitung durch PP1b liegt in diesen beiden Gebieten auf der geothermischen Nutzung von Grubenwasser aus Bereichen des Altbergbaus (Kapitel 6).

Geotermální využití důlní vody ve Freibergu a Ehrenfriedersdorfu (PP1b)

V Sasku existují dvě další pracovní oblasti projektu GeoMAP, které se vyznačují starými důlními díly: Freiberg a Brand-Erbisdorf v regionu Střední Sasko a Ehrenfriedersdorf v oblasti Erzgebirgskreis. Obě oblasti patří do regionální geologické jednotky Krušných hor. Těžištěm práce PP1b v těchto dvou oblastech je geotermální využití důlní vody z oblastí starých důlních děl (kapitola 6).

Polymetalické ložisko v těžební oblasti Freiberg bylo vytvořeno v několika

Die polymetallische Gangerzlagerrstätte des Freiburger Reviers entstand in mehreren Phasen von tektonischen Spannungen. Dabei rissen die bis zur heutigen Oberfläche anstehenden metamorphen Gesteine (Gneise) auf und heiÙe, metallhaltige sowie nicht-metallhaltige, wässrige Fluide (hydrothermale Lösungen) kristallisierten in den Spalten aus. Diese polymetallischen Absonderungen sind u.a. die Grundlage für den Bergbau im Raum Freiberg und in anderen Teilen des Erzgebirges (Sebastian 2013).

Die Zinn-Lagerstätte Ehrenfriedersdorf liegt auch in den metamorphen Gesteinen des Erzgebirges (dominierend Amphibole und Grünschiefer) eingebettet. Grundlage für die metallische Anreicherung in diesem Gebiet ist jedoch die Existenz des mittelerzgebirgischen Teilplutons, welcher im Zuge der Variszischen Orogenese intrudiert. Dabei interagierte das heiÙe Magma mit dem kühleren Umgebungsgestein und an dem Kontaktbereich bildeten sich durch metasomatische Umwandlungen und Vergreisung Polymetallvererzungen (Hösel et al. 1994). Diese wurden seit dem 13. Jahrhundert abgebaut.

Festgesteine sind zum Großteil wasserundurchlässig, was unter anderem am fehlenden Porenraum im Gestein liegt. Grundwasser kann demnach nur

fázích spojených s tektonickým napětím. V průběhu tohoto procesu byly metamorfované horniny (ruly), které zůstaly zachovány až do dnešních dnů, narušeny a následně v puklinách vykrystalizovaly horké hydrotermální roztoky obsahující kovy a nekovy. Tyto polymetalické žíly jsou mimo jiné základem těžby v oblasti Freibergu a v jiných částech Krušných hor (Sebastian 2013).

Také ložisko cínu Ehrenfriedersdorf je založeno v metamorfovaných horninách Krušných hor (dominují amfiboly a zelená břidlice). Základem metalogeneze je však v této oblasti částečně existence středokrušnohorského plutonu, k jehož průniku došlo během variského orogénu. Přitom interagovalo horké magma s chladnější okolní horninou a následné metasomatické přeměny vedly k tvorbě polymetalické mineralizace v kontaktní zóně (Hösel et al. 1994). Tato ruda zde byla těžena od 13. století.

Pevné horniny jsou z velké části nepropustné, což je částečně způsobeno nedostatkem pórů v hornině. Podzemní voda proto může cirkulovat pouze v dutinách, jako jsou pukliny, puklinové systémy, dislokační zóny, jakož i ve zvětralých partiích a oblastech podléhajících přeměnám. Podzemní voda je tvořena hlavně prosakující povrchovou vodou, v podobě srážek nebo povrchových toků. Pokud

in Hohlräumen, wie Klüften, Spaltsystemen, Störungszonen (sog. Trennflächengefüge) sowie Verwitterungs- und Zersatzbereichen zirkulieren. Das Grundwasser wird dabei überwiegend aus versickernden Oberflächenwasser, wie Niederschlag oder Abflüssen gebildet. Treten Störungen im Gestein jedoch mineralisch verfüllt auf oder sind deren Öffnungsweiten zu gering ausgebildet, so kann nur vergleichsweise wenig Wasser im Untergrund zirkulieren (Hösel et al. 1994).

Das Vorhandensein von Grundwasser ist während bergbaulicher Aktivitäten stets ein Problem. Grubengebäude wirken sich umso negativer auf das Grundwasserverhalten aus, da sie das Umgebungsgestein auflockern und somit die Fließrichtung des Grundwassers zum Grubengebäude hin beeinflussen (Hösel et al. 1994). Um Wassereinbrüchen entgegenzuwirken, wurden daher bereits frühzeitig Entwässerungsschächte angelegt oder Pumpbrunnen betrieben.

Nach Beendigung des Bergbaus wird das Grubengebäude entweder komplett oder nur teilweise verfüllt, um negativen Erscheinungen, wie unkontrollierten Setzungen an der Oberfläche entgegenzuwirken. Weiterhin wird die Wasserhaltung eingestellt, womit das Grundwasser wieder ansteigt.

jsou však dislokace v hornině vyhojeny mineralizací nebo jsou otevřené pukliny příliš úzké, může v podloží cirkulovat jen relativně málo vody (Hösel et al. 1994).

Během hornické činnosti je přítomnost podzemní vody vždy problémem. Důlní díla mají na chování podzemní vody negativní vliv, protože dochází k rozvolňování hornin a ovlivnění směru proudění podzemní vody obvykle směrem k důlnímu dílu (Hösel et al. 1994). Aby se zabránilo průniku vody, byly v raných obdobích hornické činnosti vybudovány odvodňovací šachty nebo provozovány čerpací studny.

Po ukončení těžby jsou důlní díla buď zcela, nebo jen částečně zasypana, aby se zabránilo negativním jevům, jako např. nekontrolovaným poklesům na povrchu. Kromě toho je zastaveno čerpání důlních vod, což způsobuje opětovný vzestup hladiny podzemní vody.

Princip geotermálního využití důlní vody je založen na nárůstu její teploty směrem do hloubky. Tento efekt je znám jako geotermální gradient. Průměrný geotermální gradient v Německu je $3^\circ / 100 \text{ m}$ (Bundesverband Geothermie / Federální geotermální asociace). Důlní voda ze starého díla má tepelný potenciál, který lze využít pomocí tepelných čer-

Das Prinzip der Geothermischen Nutzung von Grubenwasser beruht auf der Zunahme der Temperatur in die Tiefe. Dieser Effekt wird als Geothermischer Gradient bezeichnet. Der mittlere geothermische Gradient liegt in Deutschland bei $3^{\circ}/100\text{ m}$ (Bundesverband Geothermie)¹. Grubenwasser aus dem Altbergbau bergen somit ein thermisches Potential, welches mit Wärmepumpen genutzt werden kann (z.B. Oppelt et al. 2020). Eine Übersicht zu verschiedenen Grubenwassergeothermieanlagen in Sachsen ist in Abbildung 1-4 zu finden.

padel (např. Oppelt et al. 2020). Přehled různých geotermálních systémů důlních vod v Sasku je uveden na obrázku 1-4.

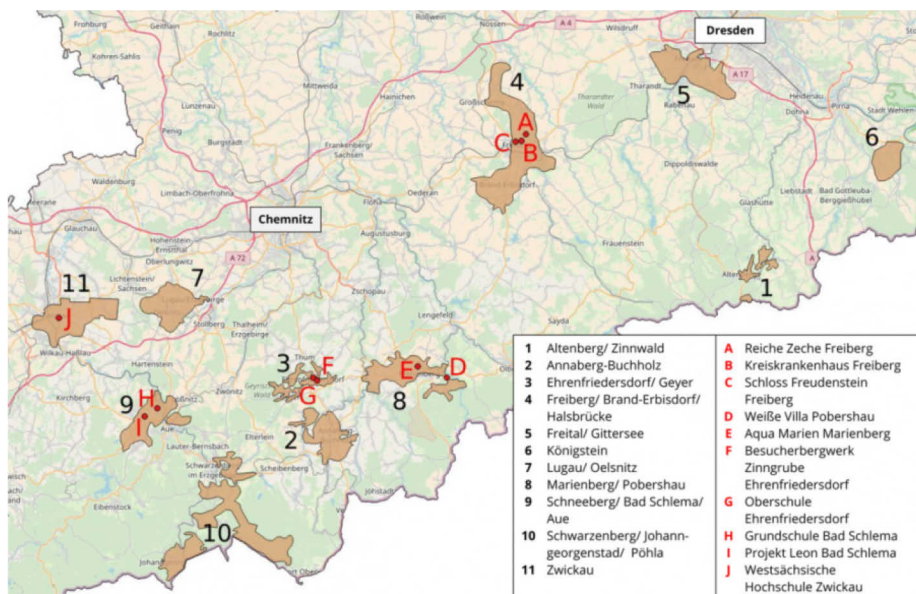


Abbildung 1-4: Durch Bergbau entstandene Hohlräume (braune Flächen mit schwarzen Zahlen) und die dazugehörigen Grubenwassergeothermieanlagen (rote Buchstaben) in Sachsen².

Obrázek 1-4: Podzemní prostory vytvořené těžbou (hnědé oblasti s černými čísly) a související geotermální systémy důlních vod (červená písmena) v Sasku².

Tagebaulandschaft des Reviers Most (PP2)

Im Vergleich zu den anderen Projektgebieten befindet sich das Braunkohlenrevier Most (Nordböhmen, Ústecký kraj) noch im Abbau. Planungstechnisch soll der Kohleausstieg in Tschechien 2038 realisiert werden; dies bedeutet, dass die Wasserhaltung eingestellt und der Abbaubereich wieder geflutet wird. Die Aufgabe des PP2 im Projekt ist beispielsweise das geotechnische und hydrochemische Monitoring am Restsee Most (Kapitel 7).

Das tertiäre Becken von Most stellt eines der Hauptbecken im Egergraben dar. Die Beckenbildung ist eng mit der Heraushebung des Erzgebirges und der dadurch bedingten Absenkung des Egergrabens verbunden (ADAMOVIČ & COUBAL 1999). Beginnend in der Kreidezeit kollidierte die Afrikanische Platte mit der Eurasischen Platte und wölbte im Kontaktbereich die Alpen auf. Dieser nordwärts gerichtete Schub der afrikanischen Platte führte anschließend zu Spannungen in der Erdkruste und daraufhin zu einer senkrechten Ausgleichsbewegung im Tertiär (ADAMOVIČ & COUBAL 1999). Ältere Störungen wurden hierdurch reaktiviert und entlang einer NE-SW-gerichteten Linie brach die Erdkruste auf und das Erzgebirge hob sich um mehrere hundert Meter heraus. Das

Povrchová těžební krajina Mostecka (PP2)

Ve srovnání s ostatním projektovým územím je severočeský hnědouhelný revír (severní Čechy, Ústecký kraj) na Mostecku ještě oblastí aktivní těžby. Plánované, postupné ukončení využívání (a tedy i těžby) uhlí v České republice by mělo být realizováno v roce 2038; to znamená, že bude zastaveno čerpání důlních vod a v oblasti dojde ke změně hydrogeologických podmínek. Úkolem PP2 v projektu je například geotechnický a hydrochemický monitoring jezera Most vytvořeného hydrickou rekultivací zbytkové jámy (kapitola 7).

Terciární mostecká pánev je jednou z hlavních pánví oherského příkopu. Vznik pánve úzce souvisí s výzdvihem Krušných hor a následným snížením oherského příkopu (ADAMOVIČ & COUBAL 1999). Počínaje křídovým obdobím došlo ke kolizi africké desky s euroasijskou deskou a v oblasti dotyku výzdvihu Alpsko-karpatského oblouku. Tento severní směr posunu africké desky vedl k napětí v zemské kůře a poté k vertikálnímu vyrovnávacímu pohybu v terciéru (ADAMOVIČ & COUBAL 1999). Výsledkem byla reaktivace starších tektonických poruch, podél linie SV-JZ došlo k rozlomení zemské kůry a výzdvihu Krušných hor o několik set metrů. Oblast byla

Gebiet war zuvor weiträumig von Kreidesedimenten bedeckt, welche in diesem Zuge großflächig erodiert wurden. Weiterhin war die Hebung des Erzgebirges von einem intensiven Vulkanismus begleitet, der noch heute das Erscheinungsbild des Böhmisches Mittelgebirges prägt (Ulrych et al. 1999).

Die Durchschnittstemperaturen in der Atmosphäre stiegen im Tertiär an und es herrschte ein ausgeprägtes warm-feuchtes Klima vor. Dies begünstigte das Wachstum von ausgedehnten Wäldern. Heutige Kohleflöze im Braunkohlenrevier Most repräsentieren einstige Sumpflandschaften, in denen über lange Zeit abgestorbenes, organisches Material unter Sauerstoffentzug akkumuliert wurde.

Die Hauptphase der sedimentären Füllung im Gebiet Most begann im Oligozän und erreichte ihren Höhepunkt im Miozän. Es wurden in dieser Zeit bis zu 500 m Sediment und organisches Material abgelagert (Rajchl et al. 2009). Diese Kohleablagerungen und Sedimentabfolgen können mit den sächsischen Tertiäreinheiten korreliert werden (Mach et al. 2014).

dříve do značné míry pokryta křídovými sedimenty, které byly v průběhu tohoto procesu značně erodovány. Vyzdvížení Krušných hor bylo navíc doprovázeno intenzivním vulkanismem, který dodnes udává podobu Českého středohoří (Ulrych et al. 1999).

Průměrné teploty v atmosféře v třetihorách stouply a bylo zde výrazně teplé a vlhké podnebí. To poskytlo vhodné prostředí k růstu rozsáhlých lesů. Dnešní uhelné sloje v hnědouhelné těžební oblasti jsou dokladem tehdejší většinou bažinaté krajiny, ve které se po dlouhou dobu za nedostatku kyslíku hromadil odumřelý organický materiál.

Hlavní fáze tvorby sedimentů v oblasti Mostecka začala v oligocénu a vyvrcholila v miocénu. Během této doby bylo uloženo až 500 m sedimentu an organického materiálu (Rajchl et al. 2009). Tato uhelná ložiska a sekvence sedimentů lze korelovat se saskými terciárními jednotkami (Mach et al. 2014).

Fußnote / Poznámka pod čarou

¹ <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/g/geothermischer-gradient.html>, 18.02.2021, 15.16 Uhr

² <https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/grubenwassergeothermie-in-sachsen.html>, 10.03.2021, 16:03 Uhr

Quellenverzeichnis / Použitá literatura

Adamovič, J. & Coubal, M. 1999: Intrusive Geometries and Cenozoic Stress History of the Northern Part of the Bohemian Massif. – Geolines 9, S. 5–14, Praha.

Felix, M.; Berger, H.-J.; Köhler, U.; Döhner, S.; Kauk, S. & Löbel, K.-H. (2007): Bergbaufolgen im ehemaligen Steinkohlerevier Lugau/Oelsnitz unter besonderer Berücksichtigung des Grubenwasseranstiegs. Abschlussbericht. Landesamt für Umwelt und Geologie - Oberbergamt.

Fischer, F. (1991): Das Rotliegende des ostthüringisch-vestsächsischen Raumes (Vorerzgebirgs-Senke, Nordwestsächsischer Vulkanitkomplex, Geraer Becken). - Dissertation Bergakademie Freiberg.

Hoth, K. (1984): 4. Zwickau – Mülsener Teilsenke. – Bericht Ressourcenpotential Steinkohle DDR, 25 S., VEB Geol. Forsch. u. Erkundung, Freiberg (unveröff., Archiv LfUG Freiberg).

Hösel, G.; Hoth, K.; Jung, D.; Leonhardt, D.; Mann, M.; Meyer, H. & Tägl, U. (1994): Das Zinnerz-Lagerstättengebiet Ehrenfriedersdorf/Erzgebirge. Zitat: <https://katalog.ub.tu-freiberg.de/Record/0-172196221>.

Kämpf, H.; Strauch, G.; Vogler, P. & Michler, W. (1989): Hydrologie and Hydrochemie Changes Associated with the December 1985/January 1986 Earthquake Swarm Activity in the Vogtland/NW Bohemia Seismic Area. - Z. geol. Wiss., 17, 685 - 698, Berlin.

Lange, T. (1998): Ein GOCAD-3-D-Modell des tektonostratigraphischen Baues im Steinkohlenrevier Zwickau als Grundlage für Ermittlung von Bergbaufolgeschäden – Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg (unveröffentlicht).

Lorenz, W. & Hoth, K. (1990): Lithostratigraphie im Erzgebirge: Konzeption, Entwicklung, Probleme und Perspektiven. – Abh. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden 37, S. 7–35, Dresden.

Mach, Karel; Teodoridis, Vasilis; Matys Grygar, Tomas; Kvaek, Zlatko; Suhr, Peter & Standke, Gerda. (2014). An evaluation of palaeogeography and palaeoecology in the Most Basin (Czech Republic) and Saxony (Germany) from the late Oligocene to the early Miocene. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen. 272. 10.1127/0077-7749/2014/0395.

Mingram, B. & Rötzler, K. (1999): Geochemische, petrologische und geochronologische Untersuchungen im Erzgebirgskristallin: Rekonstruktion eines Krustenstapels. – Schr.-R. Geowiss. 9, S. 80, Berlin.

Opplet, L.; Pose, S.; Grab, T. & Fieback, T. (2020): Regenerative Energiegewinnung aus Grubenwasser. Seite 47-51. ACAMONTA 27 (2020).

Rajchl, Michal & Uličný, David & Grygar, Radomír & Mach, Karel. (2009). Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: The Cenozoic Most Basin, Eger Graben (Central Europe). *Basin Research*. 21. 269 - 294. 10.1111/j.1365-2117.2008.00393.x.

Sebastian U. (2013) Variszische Plutone. In: *Die Geologie des Erzgebirges*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2977-3_5.



Tichomirowa, M. (2003): Die Gneise des Erzgebirges – hochmetamorphe Äquivalente von neoproterozoisch-frühpaläozoischen Grauwacken und Granitoiden der Cadomiden. – *Freiberger Forsch.-H.C.* 495, S. 1-222, Freiberg

Ulrych, J.; Pivec, E.; Lang, M.; Balogh, K. & Kropáček, V. (1999): Cenozoic intraplate volcanic rock series of the Bohemian Massiv: a review. – *Geolines* 9, S. 123–129, Praha.

Wolf, P., Hoth, K., Kampe, A., Rössler R., Schneider J.W., Brause, H., Koch, E. A. & Lobin, M. (2008) Karbon – Oberkarbon. In: W. Pälchen, H. Walther (Hrsg.): *Geologie von Sachsen – Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart 2008.

2. 3D-Untergrundmodell Lugau/Oelsnitz – Neubewertung und Aktualisierung bezogen auf aktuelle Fragestellungen des Nachbergbaus

2. 3D podzemní model revíru Lugau / Oelsnitz - přehodnocení a aktualizace na základě aktuálních problémů po ukončení těžby

Autoren | Autoři: Hädecke, S.¹, Oeser, R.A.¹, Rommel, A.¹, Ussath M.¹, Hübschmann M.¹

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

 Maria.Ussath@smul.sachsen.de  Mathias.Hübschmann@smul.sachsen.de

Zusammenfassung

Das bereits existierende strukturgeologische 3D-Modell des Steinkohlenreviers Lugau/Oelsnitz visualisiert das Deck- und Grundgebirge bis in eine Tiefe von etwa 1000 m unter GOK sowie den bergmännisch geprägten Untergrund. Es hilft nicht nur, die komplexen geologischen und tektonischen Gegebenheiten im Modellgebiet zu verstehen, sondern soll auch zukünftig zur Erstellung belastbarer Prognosen für den stetigen Anstieg des Grubenwassers im Lugau/Oelsnitzer Revier herangezogen werden.

Die vorliegende Arbeit bewertet die dem Modell zugrunde liegenden Daten und beschäftigt sich mit Ansätzen der geometrischen und parametrischen Modelloptimierung auf Grundlage dieser Quellen. Die vorgestellten Ergebnisse bilden die Grundlage für

Abstrakt

Stávající strukturní geologický 3D model uhelného revíru Lugau/Oelsnitz zobrazuje povrch a podložní horniny do hloubky přibližně 1000 m pod úrovní terénu i ovlivnění podloží těžbou. Pomáhá nejen porozumět složitým geologickým a tektonickým podmínkám v modelové oblasti, ale měl by být také v budoucnu použit k vytváření spolehlivých predikcí pro stálý nárůst hladiny důlní vody v uhelném revíru Lugau / Oelsnitz.

Předkládaná práce hodnotí data, na nichž je model založen, a zabývá se přístupy optimalizace geometrických a parametrických modelů na základě těchto zdrojů. Prezentované výsledky tvoří základ pro budoucí práci na 3D modelu uhelného revíru Lugau / Oelsnitz, protože bez hlubších znalostí datové základny není možné model

kommende Arbeiten an und mit dem 3D-Modell des Lugau/Oelsnitzer Reviers, da ohne fundierte Kenntnis der Datengrundlage keine Bewertung und Modifikation des Modells für den weiteren Einsatz möglich ist. Zukünftige Bearbeiter*innen in Verwaltung und Wissenschaft sollen hiermit befähigt werden, schnell auf die beschriebenen Ressourcen zuzugreifen und mit ihnen zu arbeiten.

Im Zuge der Projektarbeit in GeoMAP wurden zudem Inhalte für eine Medienstation „Folgen des Bergbaus im Lugau-Oelsnitzer Revier“ für das Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge bereitgestellt. Diese Medienstation dient der öffentlichkeitswirksamen Präsentation der Projektergebnisse von LP (LfULG) und PP1a (Institut für Geotechnik, TUBAF) und wird im Kapitel 5 näher vorgestellt. Im Rahmen der Netzwerkarbeit im Projekt wurde zudem ein Kooperationsvertrag zwischen dem LfULG und dem Bergbaumuseum Oelsnitz geschlossen, welcher den Weg für die zukünftige fachliche Zusammenarbeit und die gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit ebnet.

vyhodnotit a upravit pro další použití. Budoucím zpracovatelům ve výzkumu a státní správě by měl umožňovat rychlý přístup k popsaným zdrojům a možnost s nimi pracovat.

V průběhu práce na projektu GeoMAP byla v hornickém muzeu Oelsnitz / Krušnohoří zpřístupněn prostor pro mediální stanici „Důsledky těžby v uhelném revíru Lugau-Oelsnitz“. Tato mediální stanice slouží k veřejné prezentaci výsledků projektu LP (LfULG) a PP1a (Institut geotechniky, TUBAF) a je podrobněji představena v kapitole 5. V rámci projektového síťování byla také uzavřena dohoda o spolupráci mezi LfULG a Hornickým muzeem Oelsnitz, která definuje možnosti pro budoucí profesionální spolupráci a společné práce s veřejností.

2.1. Kenntnisstand zum geologisch-strukturellen Untergrund von Lugau/Oelsnitz und zu seiner Beeinflussung durch den Steinkohlenbergbau

In den vergangenen Jahren hat es bereits umfangreiche Untersuchungen zu den bekannten Auswirkungen des Altbergbaus in Lugau/Oelsnitz gegeben. So wurden im Rahmen des EU-Projektes VODAMIN ein Konzept für die gesteuerte Flutung (Eckart & Rüterkamp 2013) und für den Aufbau eines Bergbaufolgemonitorings (Löbel & Schröter 2013) erstellt. In Vita-Min, einem EU-Folgeprojekt, wurde unter anderem ein Rahmenkonzept zu den Bergbaufolgen im Revier erarbeitet (Kowarik et al. 2018). Grundlage für die an diese Projekte anknüpfende Arbeit in GeoMAP war die Bergschadenskundliche Analyse (Beyer et al. 1974). Das bestehende geologisch-strukturelle 3D-Modell von Lugau/Oelsnitz wurde im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes des LfULG zum Thema „Tektonik und Strukturbau des Permokarbons“ von 2003 bis 2005 erstellt (Steinborn 2005). Im Jahre 2007 entstand der zusammenfassende Sachstandsbericht des LfULG zu Bergbaufolgen im ehemaligen Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz (Felix et al. 2007), in dem Resthohlraumberechnungen und detailliert hydrogeochemische Aspekte untersucht wurden.

2.1. Stav znalostí o geologicko-strukturním podloží Lugau / Oelsnitz a jeho vlivu na těžbu uhlí

posledních letech proběhly rozsáhlé studie známých účinků staré těžby v revíru Lugau / Oelsnitz. V rámci evropského projektu VODAMIN byl vytvořen koncept pro kontrolované zaplavování (Eckart & Rüterkamp 2013) a pro nastavení monitorování po ukončení těžby (Löbel & Schröter 2013). V následném projektu EU Vita-Min, byl vyvinut rámcový koncept monitorování důsledků těžby v této oblasti (Kowarik et al. 2018). Základem pro práci v GeoMAP, která navázala na tyto projekty, byla analýza následků po ukončení hornické činnosti (Beyer et al. 1974). Stávající geologicko-strukturní 3D model oblasti Lugau / Oelsnitz byl vytvořen v letech 2003 až 2005 jako součást interního výzkumného projektu LfULG na téma „tektonika a stavba permokarbonu“ (Steinborn 2005). V roce 2007 vypracovala LfULG souhrnnou zprávu o stavu těžby v bývalém revíru Lugau / Oelsnitz (Felix et al. 2007), ve kterém byly zkoumány výpočty zbytkových podzemních prostor a podrobné hydrogeochemické aspekty. Hydrogeochemická data pocházela z měřicí stanice důlní vody Oelsnitz, zaplavené v letech 2003/2004 (kód MKZ 52426003). Do roku 2010 to byl jediný přímý přístup do dolu a pravidelný zdroj informací o

Die hydrogeochemischen Daten stammten aus der Grubenwassermessstelle Oelsnitz welche 2003/2004 abgeteuft wurde (Kennziffer MKZ 524260031)¹. Seit der Verwahrung des Bergbaus war dies bis nach 2010 der erste direkte Zugriff auf das Grubengebäude und eine regelmäßige Quelle für Informationen zu Grubenwasserstand und -beschaffenheit. Auch waren erste Grubenwasseranstiegsprognosen Bestandteil dieses Berichts.

Im Zuge von VODAMIN wurde 2013 die zweite Grubenwassermessstelle Gersdorf (MKZ 52420005)¹ errichtet (Abraham 2014). Da bisher keine weiteren Grubenwassermessstellen errichtet wurden, stellen die beiden genannten die einzigen Informationsquellen zum Stand des Grubenwasseranstieges dar. Die Überwachungsmöglichkeiten sind weiterhin dadurch begrenzt, dass es keine Möglichkeit zum Zutritt in das verwahrte Grubengebäude gibt. Aus diesem Grund sind nach wie vor viele Fragen zu den Eigenschaften und den ablaufenden Prozessen im Untergrund offen.

hladině a stavu důlní vody od doby ukončení těžby. Součástí této zprávy byly také první predikce vzestupu hladiny důlních vod.

V rámci projektu VODAMIN byl v roce 2013 vybudován druhý měřicí bod důlní vody Gersdorf (MKZ 52420005) (Abraham 2014). Vzhledem k tomu, že doposud nebyla zřízena žádná další měřicí místa důlní vody, jsou oba výše zmíněné body jedinými zdroji informací o stavu stoupání hladiny důlní vody. Možnosti monitorování jsou stále omezeny skutečností, že do dolu není možné vstoupit. Z tohoto důvodu stále existuje mnoho nezodpovězených otázek o vlastnostech a procesech probíhajících v podzemí.

2.2. Datengrundlage

Die Bergschadenkundliche Analyse

Die Bergschadenkundliche Analyse (BSA) für das ehemalige Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz wurde 1974 von Markscheider Curt Beyer erstellt (Beyer et al. 1974). Im Revier bildet sie die wichtigste und umfangreichste Grundlage für alle nach der Verwahrung vorgenommenen Untersuchungen zu Bergschäden und bergbaulicher Nachsorge und zur Prognose der Grubenwasserflutung. Neben den grundsätzlichen Informationen zum Charakter des Reviers, insbesondere zur Geologie sowie zu geomechanischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund, wurden die bis dahin absehbaren Bergbaufolgen und ihre Behandlung beschrieben. Eine systematische Aufführung des Bergmännischen Risswerkes mit Hinweisen zur Arbeit mit dem Risswerk sind ebenfalls Bestandteil der BSA von Lugau/Oelsnitz. Die BSA selbst ist als vollständiges Original (Textteil und 39 Anlagen) im Oberbergamt Freiberg archiviert.

Das bergmännische Risswerk

Ein einheitliches Risswerk für das Revier Lugau/Oelsnitz wurde ab 1910 angestrebt. Ältere Risse sind das Produkt von bis zu sieben parallel arbeitenden Markscheidereien, welche mit

2.2. Datové podklady

Analýza následků těžby

Pro bývalou černouhelnou těžební oblast Lugau / Oelsnitz byla v roce 1974 provedena společností Markscheider Curt Beyer (Beyer et al. 1974) analýza negativních následků hornické činnosti po jejím ukončení (BSA). Tato analýza představuje v dané oblasti nejdůležitější a nejrozsáhlejší podklad pro všechna šetření dopadů těžby, které probíhají po jejím ukončení, dále pro následnou post-těžební péči a pro prognózu zaplavení dolů. Kromě základních informací o charakteru území, zejména o geologii a geomechanických a hydrogeologických podmínkách v oblasti podloží, byly popsány předvídatelné post-těžební následky a jejich řešení. Systematické představení hornické výkresové dokumentace s pokyny pro práci s ní je také součástí BSA Lugau / Oelsnitz. BSA sám o sobě je coby kompletní originál (textová část a 39 příloh) archivován v těžebním úřadu ve Freibergu.

Hornická výkresová dokumentace

Od roku 1910 se usiluje o jednotnou hornickou výkresovou dokumentaci pro revír Lugau / Oelsnitz. Starší výkresy jsou produktem až sedmi paralelně pracujících divizí, které

unterschiedlichen Höhenbezügen und Koordinatensystemen arbeiteten (Beyer et al. 1974). Dies erschwert heutige synoptische Betrachtungen und erfordert eingehende Kenntnisse der unterschiedlichen Arbeitsmethoden und Projektionen. In der BSA wird das Urrissswerk als vollständigstes Risswerk und fundamentale Quelle für nachbergbauliche Erkundungen genannt. Für die 3D-Modellerstellung wurde von Steinborn (2005) allerdings stattdessen das Übersichtsrissswerk verwendet. Das Übersichtsrissswerk wurde 1957 bis 1960 angefertigt und bildet die abgebauten Bereiche der Steinkohlenlagerstätte vollständig ab (Beyer et al. 1974). Es enthält weiterhin Informationen über die einzelnen abgebauten Flöze (insgesamt 20 Ebenen), über Abbauareale, Abbauteufen, Mächtigkeiten, lokale Einfallwinkel, Störungszonen und die beim Abbau angewendete Versatzart.

Bohrungen und Schächte

Im Rahmen der Arbeiten in GeoMAP wurden alle relevanten, im Untersuchungsgebiet befindlichen Bohrungen und Schächte berücksichtigt und zu einer Aufschlusssdatensammlung zusammengefasst. Diese basiert auf den Datensätzen aus der Aufschlusssdatenbank des LfULG sowie neu recherchierten analogen Dokumenten. Ins-

pracovaly s různými výškovými vztahy a souřadnicovými systémy (Beyer et al. 1974). To znesnadňuje dnešní přehledná pozorování a vyžaduje důkladnou znalost různých pracovních metod a projekcí. V BSA je považována původní výkresová dokumentace za nejucelenější a základní zdroj pro post-těžební průzkumy. Pro vytvoření 3D modelů však místo toho použil Steinborn (2005) přehledovou výkresovou dokumentaci. Přehledová výkresová dokumentace byla vypracována v letech 1957 až 1960 a zcela zachycuje uhelné těžební oblasti (Beyer et al. 1974). Obsahuje také informace o jednotlivých těžebních slojích (celkem 20 úrovní), o těžebních oblastech, hloubkách těžby, mocnostech, lokálních úhlech dopadu, poruchových zónách a charakteru použité těžby.

Vrty a šachty

V rámci práce na projektu GeoMAP byly všechny relevantní vrty a šachty umístěné ve zkoumané oblasti zahrnuty a sloučeny do informační databáze. Ta je založena na souborech dat z databáze LfULG a nově zkoumaných analogických dokumentech. V archivu přístupných dat je pro zkoumanou oblast celkem asi 1300 datových záznamů (vrty, šachty). Pro původní

gesamt gibt es im Aufschlussdatenarchiv etwa 1300 Datensätze (Bohrungen, Schächte) für das Untersuchungsgebiet. Für das ursprüngliche Modell (Steinborn 2005) wurden ca. 100 Bohrungen ausgewählt, die als sogenannte Well Logs mit Markern für die Quartär-, Rotliegend- und Karboneinheiten sowie für die Obergrenze des phyllitischen Grundgebirges in das Modell eingingen. Seit der letztmaligen Bearbeitung von Felix et al. (2007) ist die Aufschlussdatenbank um weitere Bohrungen ergänzt worden, welche in die neue Aufschlussdatensammlung einbezogen wurden. Die Schichtprofile der Aufschlüsse konnten um Informationen aus Archivunterlagen, BSA-Anlagen und den Profilschnitten nach Steinborn (2005) ergänzt werden. Insgesamt wurden im Rahmen von GeoMAP ca. 340 Aufschlüsse bearbeitet, um das Modell näher zu parametrisieren (siehe Abbildung 2-1).

model (Steinborn 2005) bylo vybráno přibližně 100 vrtů, které vstoupily do modelu jako tzv. Well Logs se značkami pro kvartérní, rotliegendské a karbonské jednotky i pro horní hranici fylitického podloží. Od poslední úpravy Felixem et al. (2007) byla informační databáze doplněna o další vrty. Výchozí profily vrstev by mohly být doplněny informacemi z archivních dokumentů, systémů BSA a profilů podle Steinborna (2005). Celkem bylo v rámci GeoMAP zpracováno přibližně 340 výchozích dat, aby bylo možné podrobněji parametrizovat model (viz Obrázek 2-1).

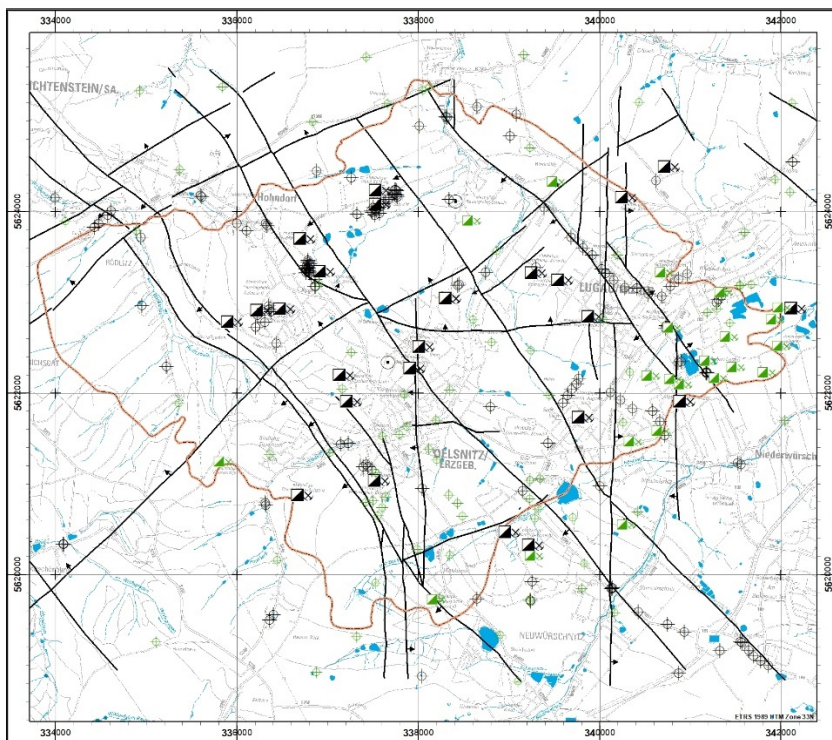


Abbildung 2-1: Aus der Aufschlussdatenbank extrahierte Bohrungen und Schächte im und um das Abbaubereich von Lugau/Oelsnitz (orange), schwarz: bereits im Modell, grün: für die Ertüchtigung ergänzt.

Obrázek 2-1: Vrtý a šachty v těžební oblasti Lugau / Oelsnitz extrahované z informační databáze (oranžová), černá: již v modelu, zelená: doplněno o aktualizace.

Sonstige Quellen

Im Rahmen von GeoMAP wurden die geologischen Vorarbeiten aus dem Sachstandsbericht (Felix et al. 2007) als Grundlage genutzt, wobei insbesondere die geologischen Profilschnitte durch das Untersuchungsgebiet zu nennen sind. Bei der Arbeit mit diesen bereits aufbereiteten Daten

Jiné zdroje

V rámci projektu GeoMAP byly použity jako základ přípravy výsledky geologických prací uvedené ve zprávě Felixe et al. 2007, se zvláštním důrazem na úseky geologického profilu procházející studovanou oblastí. Při práci s těmito dříve zpracovanými daty vyšlo najevo, že v celé zkoumané

fiel auf, dass es im gesamten Untersuchungsgebiet zu Diskrepanzen zwischen den Einträgen aus der Aufschlussdatenbank, den Profilschnitten und dem 3D-Modell kommt. Diese Diskrepanzen, verbunden mit der Fülle an Informationen, die inzwischen zum Steinkohlenbergbau in Lugau/Oelsnitz existieren und die Komplexität der geologischen, hydrogeologischen und tektonischen Gegebenheiten in dem Revier stellten die Bearbeitungsschwerpunkte in GeoMAP dar. Aus diesem Grund war es zunächst notwendig, die Metadaten der verfügbaren Informationen zu sammeln und die Recherche zu dokumentieren.

2.3. Datenrecherche und -dokumentation

Folgende Archivstandorte wurden in die umfassenden Recherchen zum Lugau/Oelsnitzer Revier im Rahmen der Projektarbeit von GeoMAP einbezogen (Tabelle 2-1).

oblasti existují nesrovnalosti mezi položkami z informační databáze, profilovými řezy a 3D modelem. Tyto nesrovnalosti spolu s množstvím informací, které nyní existují o těžbě uhlí v oblasti Lugau / Oelsnitz, a složitostí geologických, hydrogeologických a tektonických podmínek v této oblasti, představovaly hlavní úkoly zpracovávané v projektu GeoMAP. Z tohoto důvodu bylo nejprve nutné shromáždit metadata dostupných informací a zdokumentovat výzkum.

2.3. Rešerše a dokumentace dat

V rámci projektové práce GeoMAP byla do komplexního výzkumu revíru Lugau / Oelsnitz zahrnuta následující umístění archivu byla (tabulka 2-1).

Tabelle 2-1: Archivstandorte und Überblick über die verfügbaren Dokumentationen und Aufschlüsse

Tabulka 2-1: Umístění archivu a přehled dostupné dokumentace a informací.

Archivstandort Umístění archivu	Bestände Fondy
Sächsisches Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg	<ul style="list-style-type: none"> • der größte Teil der Akten und Risse, die im Zuge des aktiven Bergbaus erstellt wurden, auch Geschäftsberichte, Saigerrisse, Schachtprofile etc. • Urrissswerk, Übersichtsrissswerk
Saský národní archiv, Hornický archiv Freiberg	<ul style="list-style-type: none"> • Většina souborů a výkresů, které byly vytvořeny v průběhu aktivní těžby, včetně obchodních zpráv, výkresů Saigera, profilů šachet atd. • Primární výkresová dokumentace, přehledová výkresová dokumentace
Bergbaumuseum Oelsnitz/ Erzgeb.	<ul style="list-style-type: none"> • Kartenarchiv: Arbeitsrissswerk, geologische Karten, technische Zeichnungen, historische Dokumente und Risse (meist Duplikate) • Bibliothek: Nachlässe der Oelsnitzer Markscheider, Jahrbücher, Zeitschriften, fachliche Abhandlungen zu Bergbau, Wasserhaltung, Verwahrung usw.
Hornické muzeum Oelsnitz/Krušnohoří	<ul style="list-style-type: none"> • Mapový archiv: Pracovní výkresová dokumentace, geologické mapy, technické výkresy, historické dokumenty a výkresy (většinou duplikáty) • Literatura: Odkazy z Oelsnitzer Markscheider, ročenky, časopisy, odborná pojednání o těžbě, vodním hospodářství, ukládání atd.
Sächsisches Oberbergamt	<ul style="list-style-type: none"> • BSA (Beyer et al. 1974), mit Anlagen
Saský vrchní báňský úřad	<ul style="list-style-type: none"> • BSA (Beyer et al. 1974), s přílohami
Geologisches Archiv des LfULG	<ul style="list-style-type: none"> • Aufschlussdatenbank (digital, zudem originale Schichtenverzeichnisse im analogen Archiv) • geologische Gutachten, teilweise Bezug nehmend auf die bergmännische Erkundung • Abschlussarbeiten, Nachlässe von Bearbeitern
Geologický archiv LfULG	<ul style="list-style-type: none"> • Databáze informačních dat (digitální, také původní adresáře vrstev v analogovém archivu) • Geologické zprávy, částečně s odkazem na těžební průzkum • Teze, odkazy editorů

Die Archivbestände wurden sukzessive gesichtet und hinsichtlich ihrer Verwertbarkeit für Projektzwecke bewertet. Kriterien waren hierbei vor allem folgende Fragen:

- Kann ein Raumbezug hergestellt werden?
- Sind die Informationen auf dem letzten verfügbaren Stand oder gibt es aktuellere Erkenntnisse?
- Sind die Unterlagen lesbar?
- Sind die Informationen vollständig (z.B. sind alle Rissplatten eines Risswerkes vorhanden?)

Sehr alte (vor 1900) erstellte Werke, wie sie insbesondere im Bergbaumuseum Oelsnitz aufgefunden wurden, wurden zwar dokumentiert, sind aber aufgrund fehlender Bezugspunkte, altersbedingter Ungenauigkeit und allgemeinem Verfall (Verblässen etc.) nur bedingt zu verwerten. Bei der Bewertung der Archivalien wurden Experten aus LfULG, Bergarchiv und Bergbaumuseum sowie das unveröffentlichte Manuskript „Das bergmännische Risswerk- ein Wissensspeicher?“ von Michaely (2019) herangezogen.

In Tabelle 2-2 sind die Unterlagen zusammengefasst, welche im Rahmen von GeoMAP weiterverwendet und ggf. georeferenziert wurden. Auf eine

Archivní fondy byly postupně prohlíženy a hodnoceny s ohledem na jejich použitelnost pro účely projektu. Hlavními kritérii zde byly následující otázky:

- Lze vytvořit prostorový odkaz?
- Jsou informace aktuální nebo existují novější informace?
- Jsou dokumenty čitelné?
- Jsou informace úplné (jsou např. k dispozici všechny plány výkresové dokumentace?)

Velmi staré (před rokem 1900) výtvary, například ty, které byly nalezeny především v Hornickém muzeu Oelsnitz, byly sice zdokumentovány, avšak lze je použít pouze v omezené míře kvůli nedostatku referenčních bodů, nepřesnostem souvisejícím s jejich stářím a obecnému zhoršení kvality (vyblednutí) atd.). K vyhodnocení archivního materiálu odborníci z LfULG, hornického archivu a hornického muzea použili také nepublikovaný rukopis práce „Das Bergmännische Risswerkine eiss Wissensspeicher?“ (Jsou hornické výkresy zásobárnou vědomostí?) od Michaelyho (2019).

Tabulka 2-2 shrnuje dokumenty, které byly dále použity v rámci projektu GeoMAP a v případě potřeby georeferencovány. Z důvodu omezeného rozsahu příspěvku je upuštěno od seznamu všech zdokumentovaných podkladů.

Aufführung aller dokumentierter Unterlagen wird aus Platzgründen verzichtet.

Tabelle 2-2: Unterlagen, welche im Rahmen von GeoMAP digital gespeichert und weiterverarbeitet wurden.

Tabulka 2-2: Dokumenty, které byly v rámci projektu GeoMAP digitálně uloženy a zpracovány.

Archivstandort Umístění archivu	Bestand Fond	Anzahl Digitalisate Počet digitálních kopií	Georeferenziert Georeferencováno
Bergarchiv Hornický archiv	40039 Deponierte Risse zum Steinkohlenbergbau 40039 deponované výkresy k těžbě uhlí	62	0
	40042 Fiskalische Risse 40042 fiskální výkresy	147	12
	40044 Generalrisse 40044 obecné výkresy	14	0
	40120 VEB Steinkohlenwerk Oelsnitz (Erzgebirge) und Vorgängerbetriebe 40120 VEB černouhelný závod Oelsnitz (Krušné hory) a předchozí provozy	84	83
Bergbaumuseum Hornické muzeum	Kartenarchiv, Schachtprofile Mapový archiv, profily šachet	9	9 (Raumbezug über Schächte vorhanden) 9 (prostorový odkaz dosažitelný přes šachty)

Oberbergamt Vrchní těžební úřad	BSA Textband BSA textový svazek	1	0
	BSA Risse BSA výkresy	32	0
	BSA Textanlagen BSA textové přílohy	7	0
LfULG	Aufschlussdatenbank Informativní databáze	-	-

2.4. Das struktureologische 3D-Modell von Lugau/Oelsnitz

Das Ausgangsmodell

Das bestehende struktureologische 3D-Modell (Abbildung 2-2) von Lugau/Oelsnitz wurde von Steinborn (2005) mittels der Software GOCAD² entwickelt.

2.4. Strukturně-geologický 3D model oblasti Lugau / Oelsnitz

Výchozí model

Stávající strukturně-geologický 3D model (Obrázek 2-2) pro Lugau/Oelsnitz vyvinul Steinborn (2005) pomocí softwaru GOCAD².

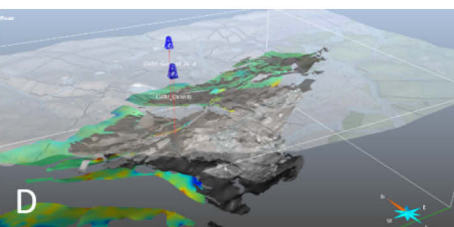
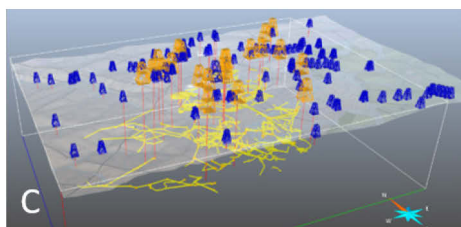
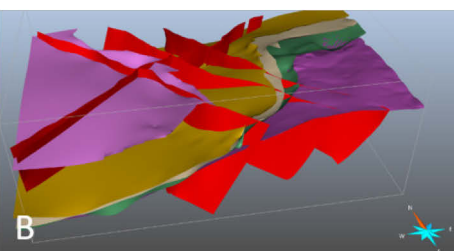
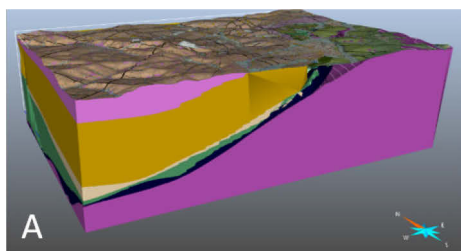


Abbildung 2-2: Eindrücke des ursprünglichen 3D-Modells. A: Die geologischen Einheiten, B: die oberen Schichtgrenzen der geologischen Einheiten und vier signifikante Störungszonen (rot), C: die im Modell erfassten Bohrungen (blau) und Schächte (orange), sowie bergmännische Auffahrungen (gelb), D: die Flächen, welche die Steinkohleflöze sowie die beiden Grubenwassermessstellen Oelsnitz (SW) und Gersdorf (NE) abbilden.

Obrázek 2-2: Zobrazení původního 3D modelu. A: Geologické jednotky, B: Hranice horních vrstev geologických jednotek a čtyři významné zlomové zóny (červená), C: Vrtý (modrá) a šachty (oranžová) zobrazené v modelu, stejně jako důlní díla (žlutá), D: Oblasti, představující černouhelné sloje a dvě měřicí stanice důlní vody v Oelsnitz (SW) a Gersdorfu (NE).

Das 3D-Modell enthält die geologischen Formationen des Quartär, Rotliegend (Unteres Perm) und Karbon sowie die Obergrenze des phyllitischen Grundgebirges. Die geologischen Grenzen existieren als sogenannte „Surfaces“ im Modell. Elf relevante Störungszonen, welche die Steinkohlelagerstätte in tektonische Blöcke unterteilen, sind als Flächen im Modell abgebildet. Weiterhin sind die für die Modellierung herangezogenen Bohrungen und Schächte sowie ein Teil der bergmännischen Auffahrungen Bestandteil des Modells. Es erlaubt somit einen Überblick über den komplizierten strukturgeologischen Aufbau des Untersuchungsgebietes und die bergmännisch geprägten Bereiche. Im Zuge der Untersuchungen, welche im Sachstandsbericht von Felix et al. (2007) zusammengefasst sind, wurde das Modell weiterverwendet, um ein Grubenwasseranstiegsmodell auf dessen struktureller Grundlage zu entwickeln. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das derzeitige 3D-Modell die An-

3D model zahrnuje geologické útvary kvartéru, rotliegendu (spodního permu) a karbonu a horní hranici fylitického podloží. Geologické hranice jsou v modelu představeny jako tzv. „Surfaces“ (povrchy). Jedenáct relevantních poruchových zón, které rozdělují ložisko uhlí na tektonické bloky, je v modelu zobrazeno jako plochy. Dále jsou pro modelování použity vrtý a šachty, stejně jako část důlních komunikací. Model tak umožňuje představení komplikovaných geologických struktur zkoumaného území a oblastí zasažených těžbou. V průběhu zkoumání, které bylo shrnuto ve Zprávě o stavu Felixem et al. (2007), byl použit model a na jeho strukturním základě došlo k vytvoření modelu vzestupu hladiny důlní vody. Ukázalo se však, že současný 3D model požadavky na komplexní prognózu zaplavení a numerické modelování splňuje pouze částečně. Není například možné lokalizovat zbytkové podzemní prostory v bývalých důlních polích, jelikož model nezobrazuje

forderungen für die komplexe Flutungsprognose und die numerische Modellierung bisher nur bedingt erfüllt. So ist es beispielsweise nicht möglich, Resthohlräume in den ehemaligen Abbaufeldern zu lokalisieren, da das Modell die lokalen Volumina des bergmännischen Versatzes nicht darstellt.

Arbeitsschwerpunkte in GeoMAP

Die an die Datenakquise anknüpfende Überprüfung des 3D-Modells umfasst folgende Schritte:

- Zusammenfassung und Ergänzung aller Bohrungen und Schächte aus der Aufschlussdatenbank
- Abgleich der bereits in GIS aufgearbeiteten Flözverbreitungskarten mit den gescannten, georeferenzierten Übersichtsrisen
- Abgleich der Bohrungen und Schächte mit den geologischen Schnitten A, B und 8 aus Felix et al. (2007; Anlage 5, 6 und 25)
- Abgleich der Profilschnitte mit dem bestehenden 3D-Modell (siehe Abbildung 2-3)
- Rekonstruktion des Modellierungsprozesses nach Steinborn (2005) an ausgewählten geologischen Elementen (siehe Abbildung 2-4).

lokální objemy základky v průběhu těžby.

Hlavní oblasti zpracování v GeoMAP

Kontrola 3D modelu spojená se sběrem dat zahrnovala následující kroky:

- Souhrn a přidání všech vrtů a šachet z informační databáze
- Porovnání rozšířených map slojí již zpracovaných v GIS s naskenovanými, georeferencovanými souhrnnými plány
- Porovnání vrtů a šachet s geologickými řezy A, B a 8 od Felixe et al. (2007, přílohy 5, 6 a 25)
- Porovnání profilových řezů s existujícím 3D modelem (viz Obrázek 2-3)
- Rekonstrukce modelovacího procesu na vybraných geologických prvcích podle Steinborna (2005) (viz Obrázek 2-4).

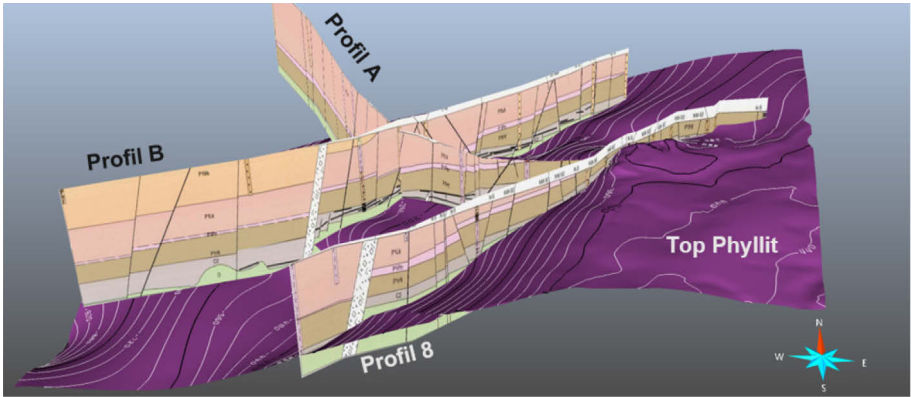


Abbildung 2-3: Lage der geologischen Schnitte A (Felix et al. 2007, Anl. 5) B (Anl. 6) und 8 (Anl. 25) maßstabsgetreu im 3D-Modell (doppelte Überhöhung). Violett: „Surface“ der Oberkante des phyllitischen Grundgebirge.

Obrázek 2-3: Poloha geologických řezů A (Felix et al. 2007, příloha 5) B (příloha 6) a 8 (příloha 25) odpovídajících měřítku v 3D modelu (dvojitá převýšení). Fialový: „Povrch“ horního okraje fylitického podloží.

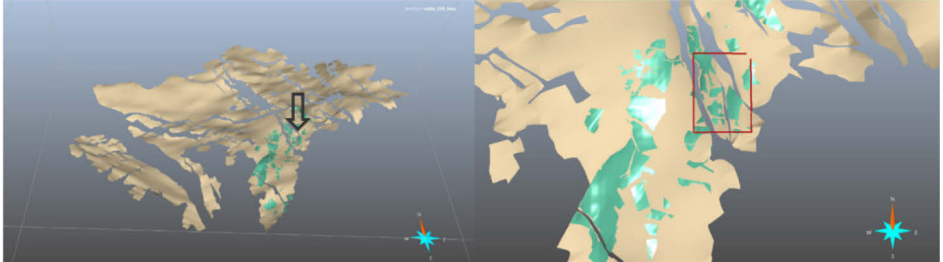


Abbildung 2-4: Neu modelliertes Grundflöz (beige) und Kneiselflöz (grün) mit sichtbaren Überlappungen. Diese resultieren aus der Übertragung der Primärdaten in den Übersichtsrisen in den dreidimensionalen Raum.

Obrázek 2-4: Nově modelovaná sloj Grund (béžová) a sloj Kneisel (zelená) s viditelnými přesahy. Ty vyplývají z přenosu primárních dat v přehledových plánech do trojrozměrného prostoru.

Empfehlung für die Aktualisierung des strukturgeologischen 3D-Modells

Im Zuge der zuvor beschriebenen Untersuchungen wurden teils große Diskrepanzen zwischen den einzelnen Quellen (z. B. Aufschlussesdaten und Übersichtsrissswerk) aber auch zwischen den Ausgangsdaten und dem 3D-Modell festgestellt. Daraus ergeben sich folgende Schwerpunkte für die Aktualisierung des 3D-Modells:

- Ergänzung der überarbeiteten Schichtinformationen für alle modellrelevanten Bohrungen und Schächte als Marker im Modell
- Implementierung der ca. 100 zusätzlich ausgewählten Bohrungen und Schächte
- Behebung von lokalen Unstimmigkeiten an den Formationsgrenzen im Modell (Problem: Formationen überschneiden sich an ihren Grenzen, bzw. es kommt zu Hohlräumen)
- Konzept für 3D-Visualisierung der Abbaubereiche der einzelnen Flöze
- Volumenbasierte Modellierung mittels SKUA-GOCAD-Workflow „Structure and Stratigraphy“ unter Einbezug der geologischen Einheiten, Störungszonen und Abbaufelder.

Doporučení pro aktualizaci strukturně-geologického 3D modelu

V průběhu výše popsaných výzkumů byly v některých případech zjištěny velké nesrovnalosti mezi jednotlivými zdroji (např. informativní data a přehledová výkresová dokumentace), ale také mezi počátečními údaji a 3D modelem. Výsledkem jsou následující priority pro aktualizaci 3D modelu:

- Přidání revidovaných informací o vrstvách pro všechny vrty a šachty související s modelem, v modelu budou znázorněny za použití značek
- Realizace cca 100 dodatečně vybraných vrtů a šachet
- Opravené lokální nekonzistence na hranicích formace v modelu (problém: Formace se překrývají na svých hranicích nebo vznikají dutiny)
- Koncept 3D vizualizace těžebních oblastí jednotlivých slojí
- Objemové modelování pomocí pracovního postupu SKUA-GOCAD „Struktura a stratigrafie“ s přihlédnutím ke geologickým jednotkám, poruchovým zónám a těžebním polím.

2.5. Zusammenfassung und Ausblick auf weitere Arbeiten

Die in GeoMAP durchgeführten Arbeiten am 3D-Modell von Lugau/Oelsnitz bilden den Grundstein für eine Aktualisierung des Modells, insbesondere im Bereich der Karbon-Schichten. Die in der Projektlaufzeit erfolgten, umfangreichen Recherchen und die Datenakquise waren vor allem auf Quellen mit Bezug zum ehemaligen Bergbau im Revier ausgerichtet. In den beschriebenen Archivstandorten sind diese Informationen in Fülle vorhanden und eine Aufarbeitung erscheint im Kontext der laufenden Untersuchungen zu den Folgen des Bergbaus im Revier zwingend notwendig. Der Neuaufbau des 3D-Modells und die Anpassung an aktuelle Fragestellungen durch das LfULG sind im Zeitraum 2022/2023 geplant (Ussath & Hübschmann 2020). Anschließend sollen auch Möglichkeiten der Volumen- und Stofftransportmodellierung für den Grubenwasseranstieg neu eruiert werden. Dazu ist es erforderlich, die entsprechend der konzeptionellen Modellvorstellungen konstruierten Geo-Objekte (geol. Körper, 3D-Flächen von tektonischen Elementen, Flöz-Körper, ggf. Hohlräume) im 3D-Strukturmodell später in den gewählten geohydraulischen Simulator zu überführen und auf dieser Grundlage

2.5. Shrnutí a výhled pro další práci

Práce provedené v rámci projektu GeoMAP na 3D modelu Lugau / Oelsnitz tvoří základ pro aktualizaci modelu, zejména v oblasti karbonických vrstev. Rozsáhlý výzkum a sběr dat, které byly provedeny v průběhu projektového období, byly primárně zaměřeny na zdroje týkající se bývalé těžby v této oblasti. V popsaných umístěních archivu jsou tyto informace k dispozici v hojném počtu a jejich zpracování se jeví v kontextu probíhajících šetření post-těžebních důsledků v této oblasti jako naprosto nezbytné. Rekonstrukce 3D modelu a přizpůsobení aktuálním problémům LfULG jsou plánovány na období let 2022/2023 (Ussath a Hübschmann 2020). Následně budou znovu zkoumány možnosti modelování objemu a transportu v průběhu stoupání hladiny důlní vody. K tomu je nutné později zahrnout geologické objekty (geologická tělesa, 3D povrchy tektonických prvků, tělesa slojí, případně podzemní prostory) ve 3D konstrukčním modelu do vybraného geohydraulického simulátoru a na tomto základě simulovat proces obnovy. Současná základní práce na aktuálním modelu je proto nezbytným základem.

K dosažení tohoto cíle je nutný další rozsáhlý výzkum, například v rotliegendských vrstvách s ohledem

den Wiederanstiegsprozess zu simulieren. Hierzu bilden die vorliegenden grundlegenden Arbeiten am derzeitigen Modell eine wesentliche Basis.

Um dies zu erreichen sind weitere umfangreiche Recherchen beispielsweise zu den Rotliegend-Schichten hinsichtlich ihrer hydraulischen Wirksamkeit notwendig. Eine genauere Unterteilung und Parametrisierung des Rotliegenden wäre für die Prognostizierung des weiteren Flutungsverlaufes in oberflächennahen Bereichen von großem Interesse. Grundlegende Recherchen hierzu wurden im Rahmen von GeoMAP begonnen und müssen nun fortgesetzt werden.

Die im Projekt erworbenen Erfahrungen und Erkenntnisse zu den Themen Aufarbeitung von Quelldaten und deren Visualisierung für Fragestellungen des Altbergbaus stehen langfristig der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung. Zu diesem Zweck wurde auch die Medienstation „Folgen des Bergbaus im Lugau-Oelsnitzer Revier“ im Bergbaumuseum Oelsnitz realisiert, welche über den Projektzeitraum von GeoMAP hinaus die wesentlichen Aspekte zu den geowissenschaftlichen Fragestellungen im Revier visualisiert und anschaulich präsentiert.

na jejich hydraulickou účinnost. Přesnější rozdělení a parametrizace Rotliegendu by bylo velmi zajímavé pro prognózy dalšího průběhu zaplavování v oblastech blízko povrchu. Základní výzkum v této oblasti byl zahájen v rámci projektu GeoMAP a nyní musí pokračovat.

Zkušenosti a znalosti získané v projektu na téma zpracování zdrojových dat a jejich vizualizace pro problémy týkající se staré těžby, jsou dlouhodobě k dispozici odbornému světu i zainteresované veřejnosti. Za tímto účelem byla v oelsnitzském Hornickém muzeu instalována mediální stanice „Důsledky těžby v uhelném revíru Lugau-Oelsnitz“, která vizualizuje a jasně prezentuje základní aspekty geovědních problémů v této oblasti i mimo projektové období GeoMAP.

Fußnote / Poznámka pod čarou

¹ Über die Kennziffern sind die Aufschlüsse im öffentlich zugänglichen Datenportal iDA des LfULG unter <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/> abrufbar | Informace lze vyvolat pomocí číselných kódů ve veřejně přístupném datovém portálu iDA LfULG na adrese <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/ida/>.

² GOCAD, Hrsg. Earth Decision Science, seit 2006 Paradigm. <https://www.pdgm.com/products/gocad/> | GOCAD, vyrobila společnost Earth Decision Science, seit 2006 Paradigm. <https://www.pdgm.com/products/gocad/>.

Quellenverzeichnis / Použitá literatura

Abraham, T. (2014): Ergebnisbericht. Isotopenhydrogeologischen Untersuchungen des Grundwassers/Grubenwassers am Standort der Tiefbohrung Gersdorf. unveröff. Bericht. HGC Hydro-Geo-Consult GmbH. Freiberg.

Beyer, C., Schneider, H. & Unger, R. (1974): Bergschadenskundliche Analyse „Lugau-Oelsnitz“-Unveröff., VEB Baugrund Berlin, Produktionsbereich Zwickau & VEB Steinkohlenwerk Oelsnitz, Zwickau, Archiv Oberbergamt; Freiberg.

Eckart, M. & Rüterkamp, P. (2013): Konzeptentwicklung zur gesteuerten Flutung des ehemaligen Steinkohlereviers Lugau-Oelsnitz und Darstellung technischer Lösungen für die Konzeptumsetzung. EU-Projekt VODAMIN. unveröff. Bericht. DMT GmbH & Co. KG. Essen

Felix, M., Berger, H.-J., Görne, S., Assmann, L., Steinborn, H., Alexowsky, H. & Schubert, H. (2007): Abschlussbericht. Bergbaufolgen im ehemaligen Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz unter besonderer Berücksichtigung des Grubenwasseranstiegs. unveröff. Bericht. Hg. v. Sächs. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Freiberg.

Kolitsch, S. (2008): Hydrogeologische Analyse und großräumige Modellierung des weiteren Vorerzgebirgssenkensraumes. Dissertation. Technische Universität bergakademie Freiberg. Freiberg

Kowarik, J., Eckart, M., Rüterkamp, P., Dabrowski, A., Schubert, J. & Beige, H. (2018): Erarbeitung inhaltlicher Aspekte für ein Rahmenkonzept zu "Bergbaunachfolgen des ehemaligen Steinkohlereviers Lugau-Oelsnitz / Erzgebirge", Leipzig: unveröff. Bericht. DMT-Leipzig. Leipzig

Löbel, K.-H. & Schröter, J. (2013): EU-Projekt VODAMIN. GIS-Anwendung - Aufbau eines Bergbaufolgemonitorings für die Stadt Oelsnitz/Erzgeb. unveröff. Bericht. TU Bergakademie Freiberg. Freiberg

Michaely, H. (2019): Das bergmännische Kartenwerk - ein Wissensspeicher? Handout zum Vortrag am 21.11.2019, Sächs. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Technische Hochschule Georg Agricola. Bochum

Steinborn, H. (2005): Angewandte Modellierung im Schwerpunktprojekt Steinkohlenbergaubereviere Zwickau und Lugau/Oelsnitz mittels Gocad. Tektonik und Strukturbau

Permokarbon Zwickau/Oelsnitz. unveröff. Bericht. Sächs. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Freiberg

Ussath, M. & Hübschmann, M. (2020): Fachkonzept Bergbaufolgen und aktuelle Aktivitäten des LfULG in der Steinkohlenregion Lugau/Oelsnitz. Vortrag zur 11. Bergbaukonferenz 2020 am 07.10.2020 in Oelsnitz/Erzgeb. Sächs. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Freiberg

3. Numerische Simulation flutungsinduzierter Hebungen am Beispiel des ehemaligen Steinkohlereviers Lugau/Oelsnitz

3. Institut geotechniky Technické univerzity Báňské akademie ve Freibergu (PP1a)

Autoren | Autoři: Weber, F. ¹, Lüttschwager, G. ¹, [✉]Konietzky, H. ¹

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

[✉]heinz.konietzky@ifgt.tu-freiberg.de

Zusammenfassung

Die Flutung stillgelegter Steinkohlebergwerke hat viele Einflüsse auf die Umwelt. Durch die Flutung des „Alten Mannes“ und des Deckgebirges treten Deformationen auf, welche sich als Hebung bis an die Geländeoberkante ausbreiten können. Dies ist ein Aspekt, welcher bisher fast ausschließlich analytisch beschrieben wurde. Analytische Ansätze sind jedoch bei komplexer Geologie und Bergwerksgeometrie nicht ausreichend. Daher wurde im Rahmen des Projekts GeoMAP beispielhaft ein 3-dimensionales numerisches Modell für das ehemalige Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz entwickelt. Für die Prognose der Hebungsraten an der Geländeoberfläche wurde ein elastischer Ansatz gewählt. Dieser ist auch für Bergwerke mit beschränkten hydraulischen Informationen geeignet. Die numerischen Ergebnisse sind in guter qualitativer Übereinstimmung mit den vorliegenden

Shrnutí

Zaplavení nepoužívaných uhelných dolů má mnoho vlivů na životní prostředí. V důsledku zaplavení „stařin“ a nadloží dochází k deformacím, které se mohou projevit výzdvihem povrchu terénu. Tento aspekt byl dosud popsán téměř výlučně analyticky. Analytické přístupy však pro složitou geologii a geometrii dolů nejsou dostatečné. Proto byl v rámci projektu GeoMAP, pro bývalý uhelný důl Lugau/Oelsnitz vyvinut trojrozměrný numerický model. Pro prognózu rychlostí zdvihu na povrchu terénu byl zvolen pružný přístup. Ten je vhodný také pro doly s omezenými hydraulickými informacemi. Číselné výsledky jsou v dobré kvalitativní shodě s dostupnými naměřenými údaji. Předložená studie potvrzuje potřebu přesných znalostí o vyřazených uhelných dolech pro lepší posouzení rizik.

Messdaten. Die vorgestellte Untersuchung bestätigt die Notwendigkeit genauer Kenntnisse über stillgelegte Kohleminen zur besseren Risikoabschätzung.

3.1. Einleitung

Numerische Simulationen

Numerische Simulationen bieten Möglichkeiten zur Bearbeitung und zum Verständnis komplexer multiphysikalischer Problemstellungen und sind nicht nur im Bereich der Geomechanik Stand der Technik. Bei der numerischen Simulation wird das zu untersuchende Medium diskretisiert und die physikalischen Zusammenhänge element- oder punktwise numerisch gelöst (Konietzky 2017). Unterteilt werden die numerischen Methoden beispielsweise anhand ihrer:

- Zeitlichen Diskretisierung (implizit oder explizit),
- Räumlichen Diskretisierung (Netzabhängig oder Netzunabhängig),
- Mechanischen Ansätze (Kontinuum oder Diskontinuum).

Jede Methode besitzt dabei spezifische Vor- und Nachteile. Für eine kurze Ausführung siehe Konietzky (2019). Beispielsweise können bei einer impliziten zeitlichen Diskretisierung oft längere Betrachtungszeiträume untersucht werden, da hier

3.1. Úvod

Numerické simulace

Numerické simulace nabízejí možnosti pro zpracování a porozumění složitým multifyzikálním problémům a jsou nejen v oblasti geomechaniky nejmodernějším výdobytkem techniky. Při numerické simulaci je zkoumané médium diskretizováno a fyzické vztahy jsou numericky řešeny prvek po prvku nebo bod po bodu (Konietzky 2017). Numerické metody se dále dělí, například na základě:

- Dočasné diskretizace (implicitní nebo explicitní),
- Prostorové diskretizace (závislé nebo nezávislé na síti),
- Mechanických přístupů (kontinuum nebo diskontinuum).

Každá metoda má specifické výhody a nevýhody. Pro krátký výklad viz Konietzky (2019). Například při implicitní časové diskretizaci může být často zkoumána delší doba simulace, jelikož jsou zde možné větší časové kroky. Explicitní kódy však mohou lépe mapovat nestabilní systémy. Přístupy nezávislé na síti mohou například mapovat obrovské deformace média,

größere Zeitschrittweiten möglich sind. Jedoch können explizite Codes instabile Systeme eventuell besser abbilden. Netzunabhängige Ansätze können zum Beispiel sehr große Deformationen des Mediums abbilden, benötigen hingegen aber mehr Rechenaufwand. Des Weiteren kann ein diskontinuums-mechanischer Ansatz Kontakte (z.B. Störungen und Verwerfungen) explizit darstellen. Jedoch ist dabei der Rechenaufwand höher. Die Wahl der numerischen Methode ist direkt von der Problemstellung, der Datenbasis und den abzubildenden Mechanismen abhängig. Geotechnische Spezialprogramme sind beispielsweise FLAC3D™, 3DEC™ oder PLAXIS™ (Konietzky 2019).

Wissenstand und Ausgangssituation

In stillgelegten Bergwerken verursacht der ansteigende Grubenwasserspiegel und der dadurch erhöhte Porendruck eine Ausdehnung des „Alten Mannes“ und folglich eine Hebung der Geländeoberfläche. Zu solchen flutungsinduzierten Hebungen wurden bereits viele Untersuchungen und Betrachtungen durchgeführt. Zum Beispiel findet man in Pöttgens (1985) eine erste analytische Beschreibung dieser Prozesse. Das Grubenwasser kann neben dem Bereich des Alten Mannes auch überliegende gestörte Bereiche oder zusätzlich das gesamte oder Teile

ale vyžadují větší výpočetní nároky. Dále může diskontinuální mechanický přístup explicitně představovat kontakty (např. narušení a zborcení). Výpočetní nároky jsou však vyšší. Volba numerické metody závisí přímo na problému, databázi a mechanismech, které mají být mapovány. Jedná se například o speciální geotechnické programy FLAC3DTM, 3DECTM nebo PLAXISTM (Konietzky 2019).

Stav znalostí a výchozí situace

V uzavřených dolech způsobují stoupající hladina vody v dole a následný zvýšený tlak pórů, rozpínání stařin a následně dochází ke zdvihu povrchu terénu. Na téma takovýchto zdvihů povrchu terénu, způsobených zaplavením, bylo již provedeno mnoho studií a úvah. Například zde Pöttgens (1985) naleznete první analytický popis tohoto procesu. Kromě oblasti stařin může důlní voda ovlivňovat i nadzemní narušené oblasti nebo také celé nebo části skrývky. Příkladem oblasti těžby uhlí, ve které se projevují účinky výzdvihů na zatopené nadloží,

des Deckgebirges beeinflussen. Ein Beispiel für ein Steinkohlerevier, welches Hebungseffekte auch für das geflutete Deckgebirge aufweist, ist das südliche Limburger Revier (Bekendam 2017). Generell können die Hebungen an der Geländeoberkannte analytisch durch sogenannte Einflussfunktionen beschrieben werden. Einen Ansatz dafür liefert z.B. Knothe (1984). Diesen Ansatz haben Sroka & Preusse (2017) erstmals für Hebungsberechnungen infolge des Grubenwasseranstiegs verwendet. Die vorgestellten analytischen Modelle sind aber meist nicht auf komplexe geologische Verhältnisse oder Bergwerksgeometrien anwendbar. Deswegen wurde im Rahmen des EU-geförderten Projekts GeoMAP eine numerische Simulation flutungsinduzierter Hebungsvorgänge am Beispiel des ehemaligen Steinkohlereviers Lugau/Oelsnitz durchgeführt. Abbildung 3-1 zeigt das Untersuchungsgebiet im Raum Lugau/Oelsnitz. Aus begrenzten geologischen Daten und digitalen Flözgeometrien der vier wichtigsten ausgebeuteten Steinkohleflöze (Abbildung 3-2), entstand ein dreidimensionales, kontinuumsmechanisches Modell.

je oblast jižního Limburgu (Bekendam 2017). Obecně lze zdvih povrchu terénu popsat analyticky pomocí takzvaných ovlivňujících funkcí. Jeden z přístupů představuje např. Knothe (1984). Tento přístup byl poprvé použit Sroka & Preusse (2017) pro výpočty nadmořské výšky kvůli stoupaní hladiny důlní vody. Prezentované analytické modely jsou však obvykle nepoužitelné při složitých geologických podmínkách nebo důlní geometrii. Proto byla v rámci projektu GeoMAP financovaného EU, provedena numerická simulace procesů zdvihu způsobených zaplavením na příkladu bývalého uhelného dolu Lugau/Oelsnitz. Obrázek 3-1 ukazuje zkoumané území v oblasti Lugau/Oelsnitz. Z omezených geologických dat a geometrií digitalizovaných slojí čtyř hlavních využívaných uhelných slojí (Obrázek 3-2), vznikl trojrozměrný mechanicko-kontinuální model.

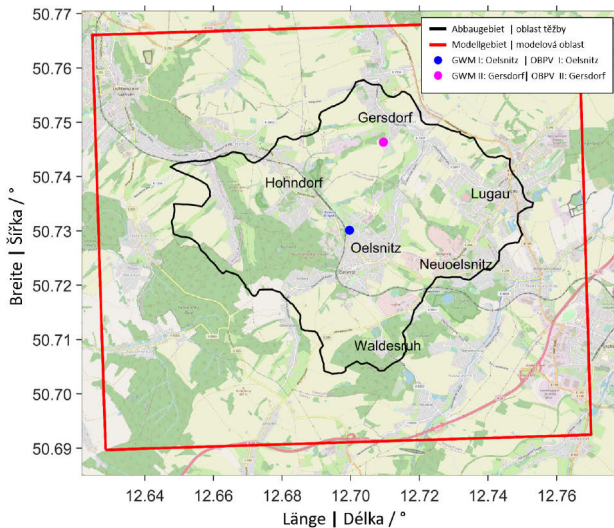


Abbildung 3-1: Lage des Untersuchungsgebietes mit Abbau- und Modellgrenzen sowie Lage der tiefen Grundwassermessstellen.

Obrázek 3-1: Umístění zkoumané oblasti s omezeními a hranicemi modelu, jakož i umístění hloubkových měřících bodů podzemní vody.

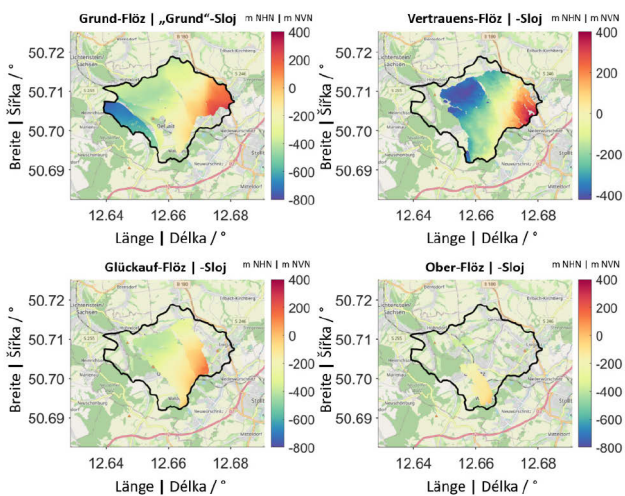


Abbildung 3-2: Implementierte Flözgeometrien und ihre Lage in der Tiefe.

Obrázek 3-2: Implementované geometrie slojí a jejich hloubkové umístění.

Für die Implementierung des Grubenwasseranstiegs wurden aktuelle Grubenwasserstände aus den Messstellen Oelsnitz und Gersdorf verwendet und interpoliert (Lokation der Messstellen siehe Abbildung 3-1). Bereits in den Projekten Vita-Min (Kowarik et al. 2018) und VODAMIN (Eckart & Rüterkamp 2013) fand eine Betrachtung des Flutungsprozesses im Revier Lugau/Oelsnitz statt. Daraus geht hervor, dass die Flutung ohne weiteres Eingreifen bis auf ein Niveau von mehr als 350 m NHN ansteigen kann (Eckart & Rüterkamp 2013) und etwa im Jahr 2032 das Taltiefste bzw. die Tagesoberfläche erreicht (Kowarik et al. 2018). Dies deckt sich gut mit dem Simulationszeitraum bis ins Jahr 2038, welcher sich aus der Interpolation der Grubenwasserstände ergibt.

Für die Validierung der numerischen Ergebnisse werden Hebungsdaten aus Nivellementmessungen und satellitengestützten Auswertungen genutzt. Dabei liegen unregelmäßige, digitale Nivellementdaten für den Zeitraum von 1996 bis 2014 vor. Für die Zeit von 2014 bis 2018 sind speziell prozessierte InSAR-Daten und Satellitendaten aus dem Projekt Vita-Min (Beak Consultants GmbH 2020) verfügbar. Durch geeignete Vereinfachungen des numerischen Modells und Kalibrierungen anhand der genannten Monitoringdaten, ist eine großräumige und

Pro realiaci vzestupu důlní vody byly použity a interpolovány aktuální hladiny důlní vody z odměrných bodů Oelsnitz a Gersdorf (umístění odměrných bodů viz Obrázek 3-1). Proces zaplavení v okrese Lugau/Oelsnitz byl již zkoumán v projektech Vita-Min (Kowarik et al. 2018) a VODAMIN (Eckart & Rüterkamp 2013). Ukazuje se, že hladina vody zaplavené oblasti může bez dalšího zásahu vystoupit na úroveň více než 350 m nad mořem (Eckart & Rüterkamp 2013) a nejnižšího bodu, popř. povrchu dosáhne kolem roku 2032 (Kowarik et al. 2018). To dobře odpovídá období simulace do roku 2038, které je výsledkem interpolace hladin důlní vody.

Pro ověření numerických výsledků se používají údaje o nadmořských výškách z měření hladin a satelitních hodnocení. Nepravidelné digitální nivelační údaje jsou k dispozici pro období od roku 1996 do roku 2014. Pro období 2014 až 2018 jsou k dispozici speciálně zpracovaná data InSAR a satelitní data z projektu Vita-Min. (Beak Consultants GmbH 2020) Odpovídající zjednodušení numerického modelu a kalibrace založené na zmíněných monitorovacích datech umožňují rozsáhlý a přibližný odhad nárůstů, ke kterým dochází ve zkoumané oblasti.

ungefähre Abschätzung der auftretenden Hebungen im Untersuchungsgebiet möglich.

Ziele/ Beiträge PP1a

Das generelle Ziel besteht in der numerischen Berechnung und Abschätzung der Hebungsraten an der Geländeoberkante infolge des Grubenwasseranstiegs am Beispiel des Reviers Lugau/Oelsnitz. Dies beinhaltet die Erarbeitung eines kontinuums-mechanischen, elastischen Berechnungsansatzes, welcher auf Untersuchungsobjekte des Altbergbaus angewendet werden kann. Dazu werden die aktualisierte Datenbasis des Untersuchungsgebietes und aktuelle Grubenwassermessungen, sowie Monitoring-Daten der Hebungen verwendet. Anhand der durchgeführten numerischen Simulation und den dabei erhaltenen Erkenntnissen werden Handlungsempfehlungen zu geotechnischen Fragestellungen von Bergbaufolgelandschaften erarbeitet. Dies stellt ein Meilenstein im Projekt dar.

Neben den fachlichen Zielen steht zudem der nationale und internationale Erfahrungsaustausch im Vordergrund. Dieses Ziel konnte mittels der Durchführung der „1. Fachkonferenz im Projekt GeoMAP“, eines Workshops und der Teilnahme an verschiedenen Konferenzen erfüllt werden (Kapitel 8).

Cíle / příspěvky PP1a

O Obecným cílem je numericky vypočítat a odhadnout rychlost zdvihu v horní části terénu v důsledku stoupání důlní vody na příkladu okresu Lugau/Oelsnitz. To zahrnuje vývoj přístupu kontinuálního mechanického a pružného výpočtu, který lze použít na objekty, jež mají být zkoumány v uzavřeném dole. K tomuto účelu se používá aktualizovaná databáze zkoumané oblasti a aktuální měření důlních vod, jakož i data monitorující zdvih terénu. Na základě provedené numerické simulace a získaných poznatků jsou vypracována doporučení pro opatření v geotechnických otázkách post-těžební krajiny. Výše uvedený cíl je zároveň milníkem projektu.

Kromě technických cílů je v popředí zájmu také národní a mezinárodní výměna zkušeností. Té lze dosáhnout realizací „1. odborné konference v projektu GeoMAP“, workshopem a účastí na dalších konferencích (kapitola 8). Kromě toho mají doporučení zvýšit informovanost a poskytnout pomoc při numerických simulacích v místech starých a opuštěných důlních dílech.

Zudem soll durch die erstellten Handlungsempfehlungen eine Sensibilisierung und Hilfestellung für numerische Simulationen im Altbergbau angeregt werden.

3.2. Ergebnisse der numerischen Modellierung

Die numerische Simulation der Hebungsprozesse verwendet einen kontinuums-mechanischen Ansatz und nutzt für die Berechnungen den Code FLAC3D™. Aufgrund der begrenzten Datenlage wurde das Modell entsprechend vereinfacht. Es bildet einen Zwei-Schicht-Fall ab (Deckgebirge und Grundgebirge), worin die Flöze und die darüber befindlichen aufgelockerten Bereiche als Auflockerungszone zusammengefasst werden (Abbildung 3-3). Das Modell basiert auf einem gleichmäßig strukturierten hexaedrischen Gitter, welches um die Abbaue zusätzlich verfeinert wird. Für das gesamte Modell wird ein elastisches Stoffgesetz verwendet.

3.2. Výsledek numerického modelování

Numerická simulace procesů zdvihu povrchu země využívá mechanický přístup kontinua a pro výpočty používá kód FLAC3D™. Vzhledem k omezenému množství dat byl model odpovídajícím způsobem zjednodušen. Zobrazuje dvouvrstvý případ (nadloží a podloží), ve kterém jsou sloje a stařiny nahoře zahrnuty jako rozvolněná zóna (Obrázek 3-3). Model je založen na rovnoměrně strukturované hexahedrál ní mřížce, která je okolo dolů dále vylepšována. Pro celý model je použit pružný zákon hmoty.

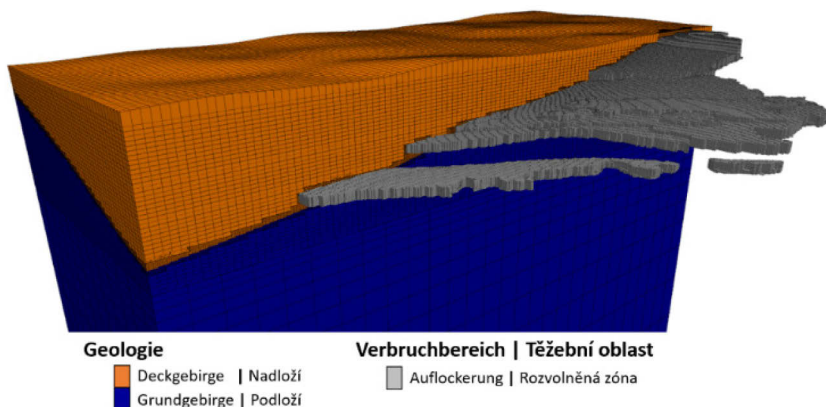


Abbildung 3-3: Schnitt durch Teile der Modellgeometrie mit Darstellung des Deckgebirges, Grundgebirges und der Verbruchbereiche.

Obrázek 3-3: Řez částmi geometrického modelu se zobrazením oblasti nadloží, podloží a těžební oblasti.

Im Modell wurden keine Störungen (Verwerfungen) eingebaut, da eine Reaktivierung der Störungen im Revier Lugau/Oelsnitz weder während des aktiven Bergbaus noch danach beobachtet werden konnte. Da die hydraulischen Vorgänge im Alten Mann nicht hinreichend gut bekannt sind und die Permeabilität im Deckgebirge als gering angenommen wird, wurde in der Simulation auf hydraulisches Fließen verzichtet. Der steigende Grubenwasserpegel wurde alternativ als Porendruckänderung im Alten Mann bzw. den darüber liegenden aufgelockerten Bereichen eingeschrieben. Diese Spannungsänderung reduziert die effektiven Spannungszustände im jeweiligen Bereich und erzeugt

Do modelu nebyla zabudována žádná narušení (zborcení), protože nebylo možné pozorovat reaktivaci narušení v okrese Lugau/Oelsnitz ani při aktivní těžbě, ani po ní. Vzhledem k tomu, že hydraulické procesy nejsou u stařin dostatečně známé a předpokládá se, že propustnost v nadloží je nízká, bylo v simulaci upuštěno od hydraulického toku. Stoupající hladina vody v jámě byla alternativně zaznamenána jako změna tlaku v pórech u stařin nebo ve výše ležících uvolněných oblastech. Tato změna tlaku snižuje efektivní stavy tlaku v příslušné oblasti a tím vytváří vztlak a v důsledku toho rozšíření „zaplavené“ modelové oblasti. Hladina důlní vody byla interpolována a rozdělena do diskrétních časových

dadurch einen Auftrieb und somit eine Ausdehnung des „gefluteten“ Modellbereiches. Dabei wurde der Grubenwasserstand, wie in Abbildung 3-4 zu sehen ist interpoliert und in diskrete Zeitabschnitte unterteilt. Die Hebungen an der Geländeoberfläche werden auf dieser Grundlage für jeweils diskrete Grubenwasserstände berechnet. Die gewählten Flutungsschritte für die numerische Simulation wurden entsprechend den zur Verfügung stehenden Hebungsdaten festgelegt.

období, jak je vidět na Obrázek 3-4. Na tomto základě se pro každou samostatnou hladinu vody v dole vypočítá zdvih povrchu země. Vybrané kroky zaplavení pro numerickou simulaci byly stanoveny podle dostupných údajů o zdvihu.

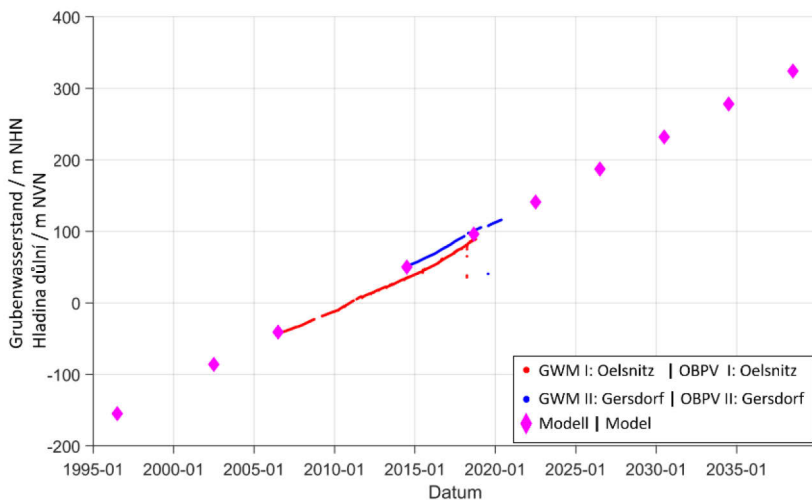


Abbildung 3-4: Messdaten der Grubenwasserstände mit den extrapolierten Grubenwasserständen für die numerische Simulation.

Obrázek 3-4: Data měření hladin důlní vody pomocí extrapolovaných hladin důlní vody pro numerickou simulaci.

Die Abbau- und Verbruch-Geometrien haben die größten Einflüsse auf die Simulationsergebnisse. Für die Mächtigkeiten der Flöze bzw. des Alten Mannes wurden Mittelwerte verwendet: Die Flözmächtigkeit wird als 2 m angenommen. Die Mächtigkeit der gestörten und aufgelockerten bzw. verbrochenen Bereiche wird mit zwei verschiedenen Ansätzen definiert. Die Mächtigkeit des direkt verbrochenen Alten Mannes wird mit dem 3- bis 4-fachen der Flözmächtigkeit abgeschätzt (Bekendam 2017). Das Grubenwasser dringt aber aufgrund entstehender Risse im Deckgebirge deutlich tiefer in das Gestein ein und sättigt sehr schnell auch eigentlich wasserstauende Schichten auf (Ahmed et al. 2018). Peng & Chiang (1984) schätzen die vertikale Ausdehnung, des durch Grubenwasser beeinflussten Bereiches, auf das 28-fache bis 42-fache der Abbaumächtigkeit. Da für das Revier Lugau-Oelsnitz keine Messdaten zur Auflockerungszone vorliegen, wurde die Mächtigkeit durch Modellkalibrierung anhand der Hebungsmessdaten auf 100 m festgesetzt.

Als Randbedingungen wurden, außer an der Oberfläche, Rollrandbedingungen ohne weitere externe Kräfte verwendet. Die Modelloberkante ist entsprechend der Funktion als Geländeoberkante ohne Randbedingungen frei. Die numerischen Berechnungen

Geometrie těžby a lomu mají největší vliv na výsledky simulace. Pro mocnost sloje, popř. stařin, byly použity průměrné hodnoty: Mocnost sloje je odhadována na 2 m. Mocnost narušených a uvolněných nebo zavalených oblastí je definována pomocí dvou různých přístupů. Mocnost přímo zavalené stařiny se odhaduje na 3 až 4 násobek mocnosti sloje (Bekendam 2017). V důsledku trhlin, které se vytvářejí v nadloží, však důlní voda výrazně proniká hlouběji do horniny a velmi rychle nasycuje vrstvy, které vodu skutečně zadržují (Ahmed et al. 2018). Peng a Chiang (1984) odhadují vertikální rozsah oblasti ovlivněné důlní vodou na 28 až 42 násobek mocnosti těžby. Jelikož pro oblast Lugau-Oelsnitz nejsou k dispozici žádná měrná data o rozvolněné zóně, byla nastavena mocnost prostřednictvím modelové kalibrace na základě naměřených dat zdvihu na 100 m.

Coby krajní podmínky byly kromě povrchu použity startovní krajní podmínky bez dalších vnějších sil. Horní hrana modelu odpovídá funkci horní hrany terénu bez jakýchkoli krajních podmínek. Numerické výpočty se provádějí ve dvou krocích: První krok spočívá ve výpočtu rovnováhy v suchém stavu, což odpovídá situaci po ukončení těžby a před zaplavením místa. Druhý krok zahrnuje postupné zaplavení dolu. Za tímto účelem byla

werden in zwei Schritten durchgeführt: Der erste Schritt umfasst die Berechnung des Gleichgewichts im trockenen Zustand und entspricht somit der Situation nach Einstellung des Bergbaus und vor Beginn der Flutung. Der zweite Schritt beinhaltet die stufenweise Flutung der Grube. Dazu wurde die Hebungssituation zu den Zeitpunkten an denen Hebungsmessungen vorliegen numerisch simuliert. Zudem wurde der Grubenwasserstand (und somit der Hebungsverlauf) in 4-Jahres-Intervallen vor 1996 bzw. nach 2018 simuliert (Tabelle 3-1).

numericky simulována situace zdvihu v době, kdy jsou k dispozici měření zdvihu. Hladina dolu (a tím i průběh zdvihu) byla navíc simulována ve čtyřletých intervalech před rokem 1996 a po roce 2018 (viz Tabulka 3-1).

Tabelle 3-1: Schritte der numerischen Simulationsrechnungen.

Tabulka 3-1: Kroky numerických výpočtů simulace.

Jahr Rok	Grubenwasserstand / m Důlní vodastav / m	Hebungsdaten Údaje o zdvihu
1996	-155	Simuliert / simulované Nivellement / Nivelace
2002	-86	Nivellement / Nivelace
2006	-41	Nivellement / Nivelace
2014	50	InSAR
2018	96	Simuliert / simulované
2022	141	Simuliert / simulované
2026	187	Simuliert / simulované
2030	232	Simuliert / simulované
2034	278	Simuliert / simulované
2038	324	Simuliert / simulované

Neben der Geometrie des Modells ist die Wahl des Stoffgesetzes und der nötigen geomechanischen Parameter besonders wichtig. Im Idealfall basieren diese auf Messwerten aus dem Untersuchungsgebiet bzw. gesteinsmechanischen Versuchen. Da das Grubengebäude im Lugau/Oelsnitzer Revier nicht zugänglich ist, musste auf vergleichbare Werte aus anderen Revieren sowie Schätzungen zurückgegriffen werden. Die verwendeten Modellparameter sind in Tabelle 3-2 dargestellt.

Kromě geometrie modelu je obzvláště důležitá volba zákona hmoty a potřebné geomechanické parametry. V ideálním případě jsou založeny na naměřených hodnotách ze studované oblasti nebo mechanických zkoušek hornin. Vzhledem k tomu, že místo dolu v okrese Lugau/Oelsnitzer není přístupné, musely být použity srovnatelné hodnoty z jiných okresů a odhady. Použité parametry modelu jsou uvedeny v Tabulka 3-2.

Tabelle 3-2: Übersicht der wichtigsten Modellparameter.

Tabulka 3-2: Přehled nejdůležitějších parametrů modelu.

Parameter Parametr	Deckgebirge Přetíženi	Alter Mann (trocken) Stařina (suchá)	Alter Mann (geflutet) Stařina (zaplavená)	Grundgebirge Podzemí
Elastizitätsmodul / GPa Modul pružnosti/ GPa	4.0 – 12.0	0.18 – 12.0	0.18 – 12.0	55.0
Poisson-Verhältnis Poissonův poměr	0.30	0.30	0.30	0.17
Dichte / kg/m ³ Hustota / kg / m ³	2660	2660	2968 – 3070	2750
Porosität Poréznost	-	-	0.30 – 0.40	-
Zonengröße / m (horizontal/vertikal) Velikost zóny / m (horizontální/vertikální)	80/40	20/10	20/10	80/40

Der E-Modul des Deckgebirges wurde anhand von Sensitivitätstest und der Modellkalibrierung abgeschätzt. Nahe der Geländeoberfläche wird ein linearer Gradient verwendet um die Verringerung des E-Moduls zur Oberfläche hin (von 12 GPa auf 4 GPa) zu modellieren. Diese ist üblicherweise durch die Verwitterung der oberflächennahen Festgesteinsschichten verursacht. Innerhalb des durch den Abbau beeinflussten Bereiches im Untergrund wird der E-Modul angepasst. Dazu wird ausgehend von der Flözsohle ($E = 180$ MPa) ein linear ansteigender Gradient des E-Moduls verwendet. Das Poisson-Verhältnis ist für jede geologische Struktur als konstant angenommen. Die Werte wurden aus allgemeinen Literaturwerten, sowie anhand der Auswertung der Bohrkernuntersuchungen an den zwei tiefen Grubenwasserbohrungen (Abbildung 3-1) abgeleitet.

Die Dichte für die jeweiligen geologischen/bergbaulichen Einheiten wurde gemäß Literaturwerten gewählt (Tabelle 3-2). Für den gefluteten Zustand wurde die Dichte entsprechend des anteiligen gefluteten Porenraumes erhöht. Dabei wurde von einer mittleren Porosität von 40 % im Verbruch und 30 % im überliegenden gestörten Gestein des Deckgebirges ausgegangen. Hierbei ist aber zu beachten, dass Dichte und Porosität des Verbruchbe-

Modul pružnosti nadloží byl odhadnut pomocí testů citlivosti a kalibrace modelu. V blízkosti povrchu terénu se používá lineární gradient k modelování snížení modulu pružnosti směrem k povrchu (z 12 GPa na 4 GPa). To je obvykle způsobeno zvětráváním vrstev hornin blízko povrchu. Modul pružnosti se upravuje v oblasti podpovrchové vrstvy ovlivněné těžbou. Za tímto účelem se ode dna sloje ($E = 180$ MPa) používá lineárně rostoucí gradient modulu pružnosti. Poissonův poměr se považuje za konstantní pro jakoukoli geologickou strukturu. Hodnoty byly odvozeny z obecných hodnot vycházejících z literatury a také z vyhodnocení výzkumů jádrového vrtání na dvou hlubinných vrtech důlní vody (obrázek 3-1).

Hustota pro příslušné geologické / těžební jednotky byla zvolena podle hodnot z literatury (Tabulka 3-2). U zaplaveného stavu byla hustota zvýšena v souladu s podílem zaplaveného prostoru pórů. Vycházelo se z průměrné pórovitosti 40% v dolu a 30% v nadloží narušené horniny skrývky. Je však třeba poznamenat, že hustotu a pórovitost oblasti dolu, stejně jako částečně zavedené odsazení, lze odhadnout jen velmi nepřesně a velmi se liší v prostoru. Lepší charakterizace již není možná kvůli nepřístupnosti místa dolu.

reiches, sowie des teilweisen eingebrachten Versatzes, nur sehr ungenau abschätzbar ist und räumlich stark variiert. Eine bessere Charakterisierung ist aber aufgrund der Unzugänglichkeit des Grubengebäudes nicht mehr möglich.

Die Ergebnisse der numerischen Hebungssimulationen werden im Folgenden in Form von flutung induzierten Hebungsraten und den Gesamthebungen beschrieben und diskutiert. Abbildung 3-5 zeigt die aus der numerischen Simulation resultierenden Hebungsraten (Kontur-Darstellung) im Vergleich zu den Monitoringdaten (Punkte). Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung in Bezug auf die zeitliche Entwicklung der Hebungsbereiche sowie die Lage der einzelnen Hebungsmaxima. Insbesondere die Ausweitung der höheren Hebungsraten Richtung Süden und Südosten kann mit der numerischen Simulation gut reproduziert werden. Diese Verschiebung der Hebungsmaxima ist durch die flachere Lage der südlichen und östlichen Abbaubereiche zu erklären und im Modell gut verifizierbar. Nach der Flutung der meisten Abbaue im südlichen Bereich hat sich die Ausdehnung des Hebungsgebietes wieder verlangsamt (Abbildung 3-5d). Die Hebungsraten liegen maximal bei circa 2 – 4 mm/Jahr.

Výsledky numerických simulací zdvihu jsou popsány a diskutovány níže ve formě rychlostí zdvihu vyvolaných zaplavením a celkovým zdvihem. Obrázek 3-5 ukazuje rychlosti elevace vyplývající z numerické simulace (reprezentace kontury) ve srovnání s monitorovacími daty (body). Výsledky ukazují velmi dobrou shodu, pokud jde o vývoj zdvižených oblastí v čase a polohu jednotlivých maxim zdvihu. Zejména lze pomocí numerické simulace dobře reprodukovat expanzi vyšších rychlostí zdvihu směrem na jih a jihovýchod. Tento posun v maximech zdvihu lze vysvětlit plošší polohou jižní a východní těžební oblasti a lze jej snadno ověřit v modelu. Poté, co byla většina dolů v jižní oblasti zatopena, expanze pozvednuté oblasti se opět zpomalila (obrázek 3-5d). Rychlost zdvihu je maximálně kolem 2 - 4 mm / rok.

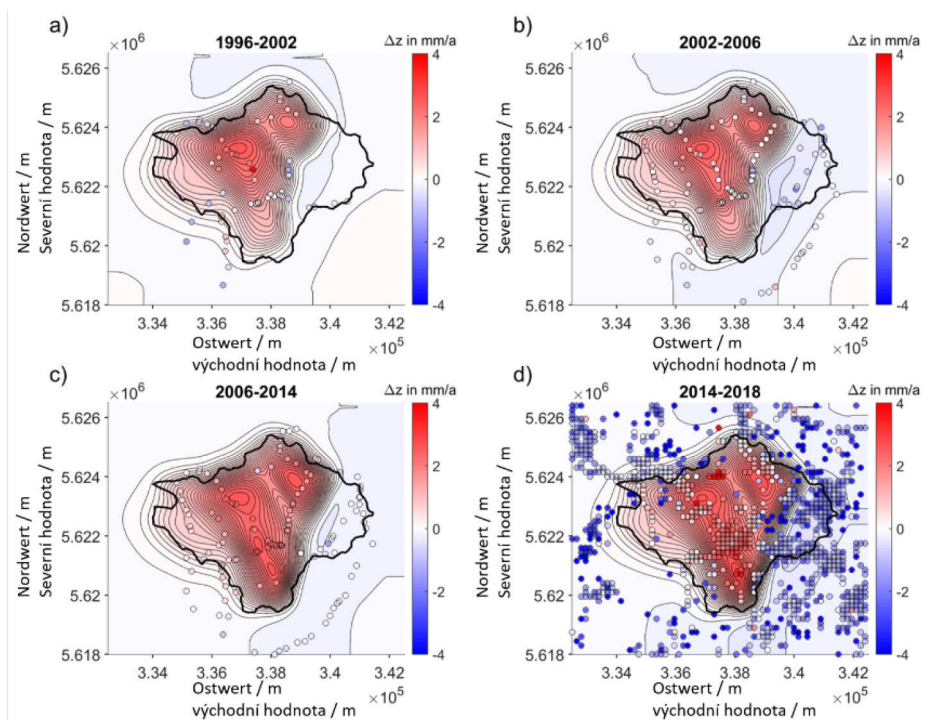


Abbildung 3-5: Hebungsdaten der numerischen Simulation (Kontur) und Monitoringdaten (Punkte) für den Untersuchungszeitraum 1996 – 2018.

Obrázek 3-5: Míry elevace numerické simulace (kontura) a monitorovacích dat (body) pro zkoumané období 1996 – 2018.

Die Ergebnisse der Flutungsprognose sind in Abbildung 3-6 anhand der Hebungsdaten zu sehen. Das Erreichen des finalen Flutungspegels ist aber sehr spekulativ. Kowarik et al. (2018) gehen hierbei aus Sicherheitsgründen z.B. von einem maximal anzustrebenden Grubenwasserstand von 300 m NHN aus. Eine Diskussion der potenziellen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs auf die oberflächennahen

Výsledky záplavových prognóz jsou vidět na základě míry zdvihu na Obrázek 3-6. Dosažení konečné úrovně zaplavení je velmi spekulativní. Kowarik et al. (2018) vycházejí z bezpečnostních důvodů z maximální hladiny důlní vody 300 m n.m. Diskuse o možných dopadech nárůstu důlní vody na blízké povrchové oblasti (70 až 100 m pod úrovní terénu) a možná rizika a bezpečnostní opatření, o která

(70 m bis 100 m unter Geländeoberkante) Bereiche und mögliche Risiken, bzw. anzustrebende Sicherheitsmaßnahmen, werden ebenfalls von Kowarik et al. (2018) aufgeführt. Unter der Annahme des weitergehend linearen Flutungsvorgangs, sind zukünftig nur sehr geringfügige Erhöhungen der Hebungsraten zu erwarten. Zudem wird sich das Hebungsgebiet auch weiterhin langsam Richtung Osten ausdehnen. Der genaue Hebungsverlauf im östlichen Randgebiet des Reviers ist aufgrund der unvollständigen Abbau- und Daten aus diesen Bereichen und den bereits genannten schwer vorhersehbaren Vorgängen in den obersten 70–100 m mit hohen Unsicherheiten behaftet.

je třeba usilovat, uvádí Kowarik et al. (2018). Za předpokladu převážně lineárního záplavového procesu lze v budoucnu očekávat jen velmi mírné zvýšení míry zdvihu. Kromě toho se oblast zdvihu bude i nadále pomalu rozšiřovat směrem na východ. Přesný průběh zdvihu v oblasti východního okraje okresu je z důvodu neúplných údajů o těžbě z těchto oblastí a již zmíněných obtížně předvídatelných procesů v nejvyšších 70–100 m plný nejistot.

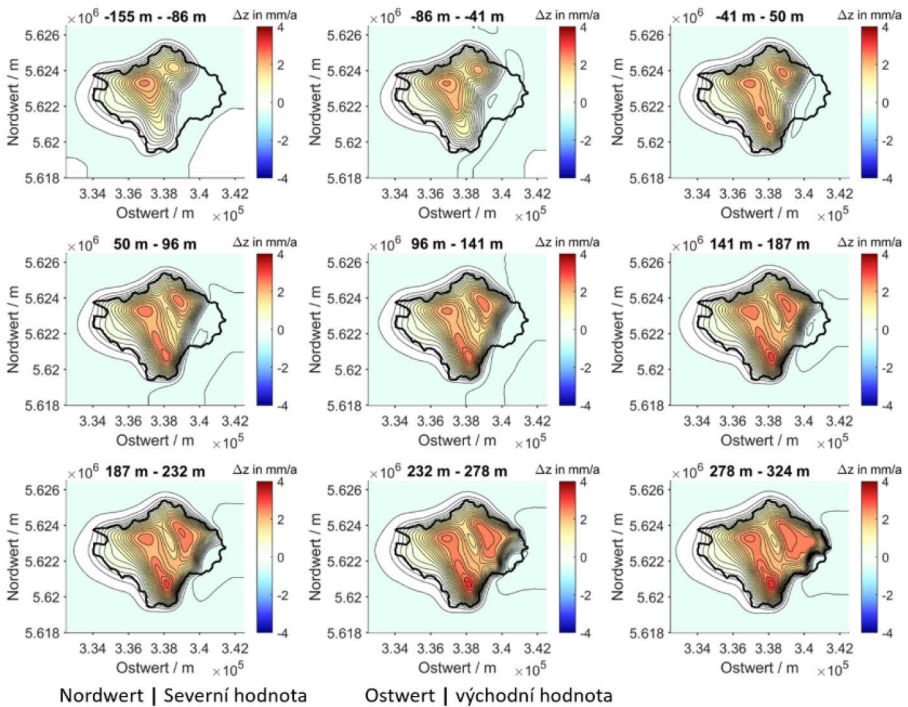


Abbildung 3-6: Prognose der Hebungsraten für den in Tabelle 3-1 dargestellten Flutungsverlauf in m NHN.

Obrázek 3-6: Prognóza míry zdvihu uvedená v tabulce 3-1 průběh zaplavení v m NHN.

Die auftretenden Gesamthebungen sind in Abbildung 3-7 dargestellt. Die maximalen Hebungen treten demzufolge im nordwestlichen Grubengebiet auf, welches einen Großteil der tiefsten Abbaue beinhaltet. Die dortigen höheren Hebungswerte sind auf die große Tiefenlage und den damit verbundenen höheren Porenwasserdruck gegenüber den flacheren südlichen Abbaubereichen, zurückzuführen. Es werden maximale Hebungen

Výsledek celkového průzkumu oblasti je uveden na Obrázek 3-7. Podle toho dochází k maximálnímu zdvihu v severozápadní důlní oblasti, která obsahuje velkou část nejhlubších výkopů. Tamější vyšší hodnoty zdvihu jsou způsobeny velkou hloubkou a souvisejícím vyšším tlakem vody v pórech ve srovnání s mělčími oblastmi jižní těžby. Je dosaženo maximálního zdvihu kolem 15 cm. Tyto hodnoty souhlasí s měřeními zdvihu v jiných

von circa 15 cm erreicht. Diese Werte stehen in guter Übereinstimmung mit den Hebungsmessungen in anderen Revieren (Bekendam 2017; Heitfeld et al. 2015; Heitfeld et al. 2016).

oblastech (Bekendam 2017; Heitfeld et al. 2015; Heitfeld et al. 2016).

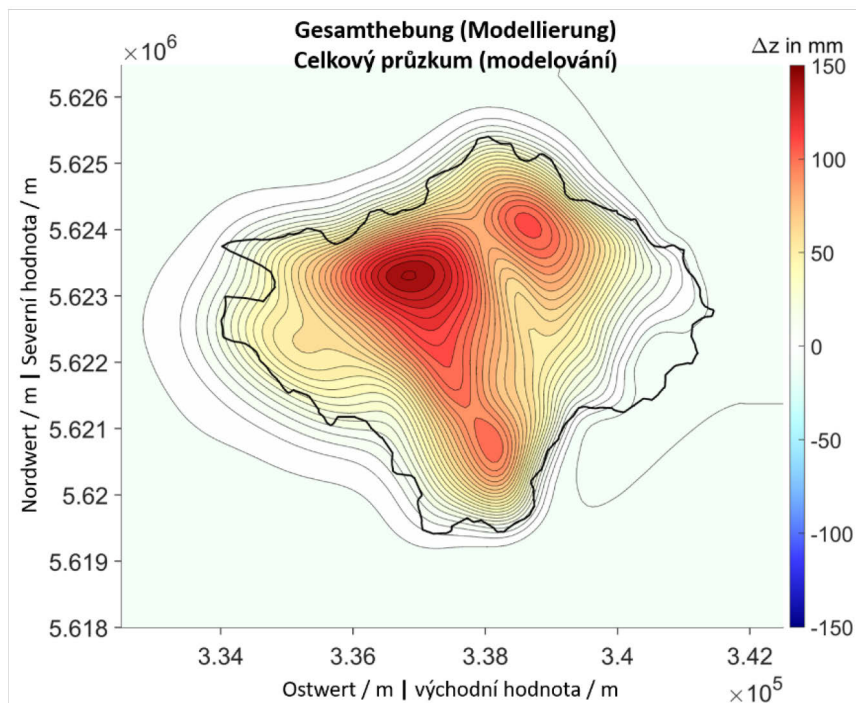


Abbildung 3-7: Gesamthebung der Geländeoberfläche für das Ergebnis der numerischen Simulation (finaler simulierter Grubenwasserstand: 324 m NHN).

Obrázek 3-7: Celková výška povrchu terénu pro výsledek numerické simulace (konečná simulovaná hladina důlní vody: 324 m výšky nad mořem.)

Das numerische Modell bildet somit in guter Näherung die durch Monitoringdaten belegbaren Hebungsraten ab und liefert plausible Gesamthebungen. Die Ergebnisse liefern Aussagen

Numerický model tak poskytuje dobré přiblížení rychlostí zdvihu, které lze ověřit monitorovacími údaji a dodává věrohodné celkové průřezky. Výsledky poskytující vyjádření o ro-

über großräumige Hebungsverteilungen, Aussagen über lokale Ereignisse bspw. an Tagesschächten oder Störungen sind nicht möglich. Zudem geben die hier durchgeführten Untersuchungen nur Aufschluss über die Hebungswirkung tieferer Abbaubereiche im nicht verwitterten Gebirge. Die Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs auf die obersten 70-100 m unterhalb der Geländeoberkante können in diesem großskaligen Modell nicht berücksichtigt werden. Bei einer Änderung der Geschwindigkeit des Grubenwasseranstiegs muss dieses Modell ebenfalls neu bewertet werden. Außerdem sind die Ergebnisse, wie bereits angesprochen, aufgrund der getroffenen Annahmen für den E-Modul, die Höhe der Verbruchzone etc. mit erhöhten Unsicherheiten behaftet, da die vorhandene Datengrundlage äußerst begrenzt ist. Jedoch kann, im Rahmen der Fehler, ein guter Überblick über die Hebungsverteilung und die relevanten Mechanismen erhalten werden. Die getroffenen Aussagen und entwickelten Lösungsansätze gelten stets für die genannten Parameter (Anfangs- und Randbedingungen, Materialkennwerte etc.). Eine Übertragung auf andere Konstellationen ist ohne vorherige Prüfung nicht möglich.

zsáhlých distribucích zdvihu, prohlášení o místních událostech, např. v denních šachtách nebo narušeních, nejsou možné. Zde prováděná šetření navíc poskytují pouze informace o efektu zdvihu hlubších těžebních oblastí v nezvětralých horninách. Účinky nárůstu důlní vody na nejvyšších 70-100 m pod úrovní terénu nelze v tomto velkoplošném modelu zohlednit. Pokud se rychlost vzestupu důlní vody změní, musí být také tento model přehodnocen. Kromě toho, jak již bylo uvedeno, v důsledku předpokladů pro modul pružnosti, pro výšku lomové zóny atd., podléhají výsledky zvýšené nejistotě, jelikož dostupná databáze je extrémně omezená. Přesto lze, v rámci těchto chyb, získat dobrý přehled o výškovém rozložení a příslušných mechanismech. Uvedená prohlášení a vyvinutá řešení se vždy vztahují na uvedené parametry (počáteční a krajní podmínky, materiálové parametry atd.). Přenos do jiných situací není bez předchozího prozkoumání možný.

3.3. Ausblick

Die im Rahmen des Projekts GeoMAP erhaltenen Erkenntnisse über die he-
bungsrelevanten Einflussgrößen (z.B. Mächtigkeit Verbruchzone, Steifigkeit des Deckgebirges), können bei der Be-
wertung ähnlicher Problemstellungen helfen und es ermöglichen die wichti-
gen mechanischen Prozesse zu erken-
nen und zu interpretieren. Zudem ist
der entwickelte numerische Ansatz
gut für Bergwerke des Altbergbaus mit
begrenzten geomechanischen und
hydraulischen Informationen einsetz-
bar. Somit könnte er auch für andere
Untersuchungsobjekte adaptiert
und/oder weiterentwickelt werden.

Um die Aussagekraft speziell für das
Revier Lugau/Oelsnitz zu verbessern
und eventuelle Lücken zu schließen,
wäre die Einarbeitung weiterer Koh-
leflöze denkbar, oder die Erarbeitung
und Implementierung der tatsächli-
chen Abbaumächtigkeiten möglich.
Sehr interessant wären Untersuchen-
gen oder Beobachtungen zum Ver-
satzzustand oder zu den geomechani-
schen und hydraulischen Eigenschaf-
ten des Alten Mannes und der darüber
befindlichen Verbruchzone. Dadurch
könnten die Hebungsmechanismen
noch genauer nachvollzogen werden.

3.3. Výhled

Znalosti o faktorech relevantních pro
zdvih (např. mocnost zóny dolování,
tuhost nadloží), získané v souvislosti s
projektem GeoMAP, mohou pomoci
při hodnocení podobných problémů a
umožnit rozpoznání a interpretaci
důležitých mechanických procesů.
Vyvinutý numerický přístup lze navíc
dobře použít pro stará důlní díla s
omezenými geomechanickými a
hydraulickými informacemi. Mohl by
tedy být také upraven a / nebo dále
vyvinut pro jiné zkoumané objekty.

Aby se zlepšila výpovědní hodnota,
zejména pro okres Lugau/Oelsnitz, a
aby se odstranily případné mezery,
bylo by možné začlenit do výzkumu
další uhelné sloje, nebo by byl možný
vývoj a implementace skutečné
mocnosti těžby. Velice zajímavé by
byly výzkumy nebo pozorování stavu
posunu nebo geomechanických a
hydraulických vlastností stařiny a zóny
dolování. To by umožnilo ještě
přesněji pochopit mechanismy zdvihu.

Quellenverzeichnis / Použitá literatura

- Beak Consultants GmbH (2020): Auswertung von Bodenbewegungsdaten aus der Georadarfernerkundung zur Untersuchung von bergbau- und flutungsbedingten Senkungen und Hebungen der Erdoberfläche im Steinkohlerevier zur Festlegung von Bohrlochansatzpunkten, Freiberg: Beak Consultants GmbH.
- Bekendam, R. (2017): Abschätzung der Bodenhebungen in Folge des Grubenwasseranstiegs über stillgelegten Kohlegruben im Südlimburger Revier. In: G. Meier, Hrsg. 17. Altbergbau-Kolloquium. 16 bis 18. November 2017, Freiberg. Nossen: Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, pp. 118-130.
- Eckart, M. & Rüterkamp, P. (2013): Konzeptentwicklung zur gesteuerten Flutung des ehemaligen Steinkohlereviere Lugau-Oelsnitz und Darstellung technischer Lösungen für die Konzeptumsetzung. EU-Projekt VODAMIN, Essen: DMT GmbH & Co. KG.
- Heitfeld, M. et al. (2015): Bewertung der Risiken durch Spätfolgen des Steinkohlenbergbaus in Südlimburg/Niederlande. In: G. Meier, Hrsg. 15. Altbergbau-Kolloquium. Vom 5. bis 7. November 2015 in Leoben. Montanuniversität Leoben: Nossen: Wagner, pp. 130-146.
- Heitfeld, N., Rosner, P. & Mühlenkamp, M. (2016): Gutachten zu den Bodenbewegungen im Rahmen des stufenweisen Grubenwasseranstiegs in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel. Bewertung des Einwirkungspotentials und Monitoringkonzept. - Anstieg bis -320 mNHN -, Aachen: Ingenieurbüro Heitfeld - Schetelig GmbH.
- Knothe, S. (1984): Prognozowanie wpływów eksploatacji górnictwej. Katowice: Wydawnictwo Śląsk.: s.n.
- Konietzky, H. (2017): Geomechanical methods. In: E-Books: Introduction into geomechanics. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg - Lehrstuhl Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau.
- Konietzky, H. (2019): Überblick über numerische Berechnungsverfahren in der Geotechnik. 1. Fachkonferenz im Projekt GeoMAP - Freiberg, 28. Juni, pp. 53-58.
- Kowarik, J., Eckart, M., Rüterkamp, P., Dabrowski, A., Schubert, J., Beige, H. (2018): Erarbeitung inhaltlicher Aspekte für ein Rahmenkonzept zu "Bergbaunachfolgen des ehemaligen Steinkohlereviere Lugau-Oelsnitz / Erzgebirge", Leipzig: unveröff. Bericht. DMT-Leipzig. Leipzig
- Pöttgens, J. J. (1985): Bodenhebungen durch ansteigendes Grubenwasser. 6. Internationaler Kongress für Markscheidewesen, pp. 928-938.
- Sroka, A. & Preusse, A. (2017): Technische Abschätzung von Folgelasten des Steinkohlebergbaus. In: 1. GDMB (Schriftreihe der GDMB, Hrsg. 9. Aachener Altlasten und Bergschadenskondliche Kolloquium: "Ende des subventionierten Steinkohlebergbaus - aktueller Stand und langfristige Entwicklungen". Aachen: s.n., pp. 49-58.

4. Handlungsempfehlungen zu geotechnischen Fragestellungen von Bergbaufolgelandschaften anhand von numerischen Simulationen von Nachbergbau-Problemen im Rahmen des Projekts GeoMAP

4. Doporučení pro opatření v geotechnických otázkách post-hornické krajiny na základě numerických simulací problémů po těžbě v rámci projektu GeoMAP

Autoren / Autoři: Weber, F. ¹, [✉]Konietzky, H. ¹

¹ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

[✉]heinz.konietzky@ifgt.tu-freiberg.de

4.1. Ziel der Handlungsempfehlung

In der Vergangenheit stillgelegte Bergwerksanlagen haben meist zahlreiche Einflüsse auf die Umwelt. Begründet sind diese Einflüsse durch den großräumigen Eingriff in die natürliche Umgebung. Weitere Gründe können aber auch unzureichend geplante, oder nicht vorhandene Verwahrungsstrategien im Altbergbau, aber auch fehlende Aufarbeitung und fehlendes Monitoring sein. Heutzutage sind bei geplanten bzw. in Betrieb befindlichen bergbaulichen Anlagen die Nachbergbau-Folgen im Voraus abzuschätzen und entsprechende Maßnahmen zu planen. Für den Freistaat Sachsen - aber auch darüber hinaus allgemeingültig - können folgende Aspekte genannt werden, die mehr oder weniger

4.1. Cíle akčních doporučení

Důlní díla, která byla v minulosti uzavřena, ovlivňují obvykle v mnoha ohledech životní prostředí. Tyto vlivy jsou způsobeny rozsáhlými zásahy do přírodního prostředí. Dalšími důvody mohou být také nedostatečně plánované nebo neexistující strategie ochrany starých důlních děl, ale také nedostatek zpracování a nedostatek monitorování. V dnešní době, v případě plánovaných důlně-těžebních zařízení nebo zařízení, která jsou již v provozu, musí být předem posouzeny post-hornické důsledky a naplánována vhodná opatření. U Svobodného státu Sasko – což však lze použít také obecně – lze zmínit následující aspekty, které mají více či méně dalekosáhlé účinky na obyvatele a přírodu:

weitreichende Auswirkungen auf Mensch und Natur haben:

- Hebungsvorgänge durch Bergwerksflutungen (z.B. Steinkohlengebiet Lugau/Oelsnitz)
- Fragen zur Haldenstabilität und -sanierung (z.B. Lugau/Oelsnitz oder Wismut-Halden)
- Große Tagesbrüche (Pinge Altenberg, Geyersche Binge)
- Kleinere Tagesbrüche an alten Schächten (bspw. im Raum Freiberg)
- Tagebau: Böschungsstandsicherheit, Flutung (bspw. Raum Leipzig)
- Tagebau: Setzungsfließen, Sackungen, Böschungsinstabilitäten während des Flutungsprozesses (bspw. Lausitzer Braunkohlerevier)
- Kontamination von Grundwasser durch Flutung (bspw. Lausitzer Braunkohlerevier oder Uran-Bergbau in Königstein)

Ziel der vorliegenden Handlungsempfehlungen ist es, einen Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch für numerische Simulationen zu Fragestellungen von Nachbergbau-Folgen anzustoßen. Es sollen prägnant mögliche numerische Lösungsansätze dargestellt und ausgewählte Beispiele für die dazu benötigte Datenbasis kurz vorgestellt werden. Zudem wird ein Ausblick gegeben, welche Ergebnisse

- Prozesse deformace povrchu způsobené zaplavením dolů (např. u-helná oblast Lugau / Oelsnitz)
- Otázky týkající se stability a sanace hald (např. Lugau / Oelsnitz nebo Wismut-Halden)
- Velké povrchové propady (Pinge Altenberg, Geyersche Binge)
- Malé povrchové propady u starých šachet (např. V oblasti Freibergu)
- Povrchová těžba: Stabilita svahů, zaplavování (např. Oblast Lipska)
- Povrchová těžba: Sesuvy půdy, poklesy, nestability svahů během procesu zaplavení (např. Lužický lignitový těžební revír)
- Kontaminace podzemních vod při zaplavení podzemí (např. Lužický lignitový revír nebo těžba uranu v Königsteinu).

Cílem těchto akčních doporučení je zahájit přenos znalostí a výměnu zkušeností pro numerické simulace v otázkách post-těžebních následků. Měly by být stručně představeny možné numerické přístupy k řešení a vybrané příklady pro tuto databázi. Kromě toho je uvedeno, jaké výsledky lze výhledově očekávat od geotechnické, numerické simulace post-těžebních problémů a jaké monitorovací údaje umožňují kalibraci a ověření těchto výsledků.

von einer geotechnischen, numerischen Simulation zu Nachbarbau-Problemen erwartet werden können und durch welche Monitoringdaten es möglich ist, diese Ergebnisse zu kalibrieren und zu validieren.

4.2. Einführung numerische Berechnungsverfahren

Die geotechnischen, numerischen Lösungsansätze können, basierend auf ihrem mechanischen Ansatz, generell in zwei Kategorien eingeteilt werden (Konietzky 2017): zum einen gibt es den kontinuumsmechanischen Ansatz und zum anderen die Simulation eines Diskontinuums. Weitere Unterscheidungsmöglichkeiten sind zum einen auf Basis der zeitlichen Diskretisierung möglich (explizite oder implizite Methoden) und zum anderen basierend auf der Netzabhängigkeit (netzbehaf-tete oder netzfreie Methoden). Bezüglich der zugrundeliegenden numerischen Lösungsverfahren gibt es die Unterteilung in z.B. die Finite-Elemente-Methode (FEM), Finite-Differenzen-Methode (FDM) und Diskrete-Elemente-Methode (DEM) (Konietzky 2019). Numerische Simulationen sind generell zwei- oder dreidimensional möglich, die Wahl der räumlichen Abbildung wird meist durch die geotechnische Fragestellung bestimmt. Da jedoch bei geotechnischen Problemstellungen eher die zugrundeliegende

4.2. Zavedení numerických výpočetních metod

geotechnických, numerických řešení, založené na jejich mechanickém přístupu, lze obecně rozdělit do dvou kategorií (Konietzky 2017): na jedné straně je mechanický přístup kontinua a na druhé straně je simulace diskontinuity. Další možnosti diferenciacce jsou možné na jedné straně na základě časové diskretizace (explicitní nebo implicitní metody) a na druhé straně na základě závislosti na síti (metody připojené k síti nebo bez sítě). Pokud jde o základní numerické metody řešení, existuje další rozdělení např. na metodu konečných prvků (FEM), metodu konečných rozdílů (FDM) a metodu diskrétních prvků (DEM) (Konietzky 2019). Obecně jsou numerické simulace možné ve dvou nebo třech rozměrech; výběr prostorového mapování je většinou určen geotechnickou otázkou. Vzhledem k tomu, že základní mechanika má pro geotechnické problémy větší význam, jsou tyto dva mechanické přístupy stručně vysvětleny.

Mechanik von großer Bedeutung ist, werden die beiden mechanischen Ansätze kurz erläutert.

Beim kontinuumsmechanischen Ansatz wird das Untersuchungsgebiet als kontinuierlich zusammenhängendes Medium betrachtet, welches aus einzelnen Elementen oder Zonen aufgebaut ist. Risse oder Brüche im Medium können nicht explizit mit diesem Ansatz abgebildet werden, ihre Implementierung ist jedoch aufwändig über sogenannte *Interfaces* möglich. Im diskontinuumsmechanischen Ansatz wird die Modellregion in unterschiedliche Blöcke oder Partikel zerlegt, welche durch sogenannte Kontakte oder Kontaktflächen getrennt sind. Risse und Brucherscheinungen können direkt über diese Kontakte abgebildet werden, was z.B. bei der Abbildung von Störungszonen hilfreich ist.

Das geomechanische Verhalten des Mediums wird prinzipiell über Stoffgesetze abgebildet, welche von linear elastischen, über elasto-plastischen, bis hin zu visko-elasto-plastischen Stoffgesetzen reichen. Für eine Betrachtung als Diskontinuum sind zusätzlich Kontaktstoffgesetze nötig, welche das mechanische Verhalten zwischen den Blöcken oder Partikeln beschreiben.

Im geotechnischen Bereich kann generell zwischen unterschiedlichen

V mechanickém přístupu kontinua je vnímána studovaná oblast jako spojitě koherentní médium, které je tvořeno jednotlivými prvky nebo zónami. Trhliny nebo zlomy na médiu nelze tímto přístupem explicitně mapovat, ale jejich implementace je možná pomocí takzvaných rozhraní. V mechanickém přístupu s přerušením je oblast modelu rozdělena na různé bloky nebo částice, které jsou odděleny takzvanými kontakty nebo kontaktními plochami. Trhliny a zlomy lze mapovat přímo prostřednictvím těchto kontaktů, což je užitečné například při mapování poruchových zón.

Geomechanické chování média je v zásadě mapováno pomocí materiálových zákonů, které sahají od lineárních elastických přes elasto-plastické až po visko-elasto-plastické materiálové zákony. Pro zvážení z hlediska diskontinuity jsou také nezbytná pravidla kontaktního materiálu, která popisují mechanické chování mezi bloky nebo částicemi.

V geotechnické oblasti si můžete obecně vybrat mezi různými multifunkčními softwarovými balíčky (ANSYS, ABAQUS, NASTRAN atd.) nebo speciálními geotechnickými programy (FLAC3D, 3DEC, PLAXIS, PFC3D atd.). Většina kódů je také schopna propojit mechanické a hydraulické výpočty. Tabulka 4-1 poskytuje zjednodušený

multifunktionalen Softwarepaketen (ANSYS, ABAQUS, NASTRAN etc.) oder geotechnischen Spezialprogrammen (FLAC3D, 3DEC, PLAXIS, PFC3D etc.) gewählt werden. Die meisten Codes sind zudem in der Lage, mechanische und hydraulische Berechnungen zu koppeln. Tabelle 4-1 gibt eine vereinfachte Übersicht der grundlegenden Eigenschaften für die Codes FLAC3D und 3DEC.

průhled základních vlastností kódů FLAC3D a 3DEC.

Tabelle 4-1: Gegenüberstellung der numerischen Codes FLAC3D und 3DEC bezüglich ihrer grundlegenden Ansätze.

Tabulka 4-1: Porovnání numerických kódů FLAC3D a 3DEC s ohledem na jejich základní přístupy.

	FLAC3D	3DEC
Mechanischer Ansatz Mechanický přístup	Kontinuum	Diskontinuum
Mathematischer Ansatz Matematický přístup	FDM	DEM
Zeitliche Diskretisierung Časová diskretizace	Explizit explicitní	Explizit explicitní
Kontaktabbildung Obrázek kontaktu	rudimentär über Interfaces základní prostřednictvím rozhraní	direkt möglich přímo možné

In Bezug auf die in Kapitel 4.1 genannten Beispiele könnten flutungsinduzierte Hebungsvorgänge über stillgelegten Bergwerken bspw. mit dem Code FLAC3D abgebildet werden.

Co se týče příkladů zmíněných v Kapitole 4.1, záplavové procesy zdvihu povrchu nad nepoužívanými doly lze mapovat například pomocí kódu FLAC3D. Neboť bez aktivního narušení

Denn ohne aktive Störungen kann das Untersuchungsgebiet großräumig als Kontinuum betrachtet werden. Falls jedoch der Einfluss von Störungen eine hohe Relevanz auf die Problemstellung hat, könnte eventuell eine Untersuchung mit 3DEC sinnvoll sein. Bei Böschungs- und Haldenproblemen hat sich der Code FLAC3D bewährt. Für die Abbildung von Tagesbrüchen ist 3DEC oder auch PFC3D eine Option, da hier Bruchmechaniken direkt simuliert werden können. Die Wahl des mechanischen Lösungsansatzes hängt somit in erster Linie von der geotechnischen Fragestellung, dem Untersuchungsgebiet und den abzubildenden Prozessen ab. Generelle Empfehlungen ohne Kenntnisse der genauen Problemstellung bzw. Untersuchung sind daher nicht allgemeingültig möglich.

4.3. Nötige Datengrundlage für numerische Simulationen

Numerische Simulationen können prinzipiell in unterschiedlicher Weise ausgeführt werden, als (A) Scoping-Berechnungen auf Basis einer schwachen Datenlage (Erkennen der wesentlichen Mechanismen, Bestimmung von Größenordnungen von Deformationen/Spannungen, prinzipielles Testen von Maßnahmen, Parameterstudien etc.) oder (B) in Form der

Ize studovanou oblast vnímat na velké ploše jako kontinuum. Pokud však má pro daný problém vliv narušení velký význam, může být užitečný výzkum pomocí kódu 3DEC. Kód FLAC3D se osvědčil v případě problémů s haldami a skládkami. Jelikož lze mechaniku zlomu simulovat přímo, existuje možnost použít pro mapování povrchových zlomů kód 3DEC nebo PFC3D. Volba mechanického řešení závisí především na geotechnické problematice, studijní oblasti a procesech, které mají být zmapovány. Obecná doporučení bez znalosti přesného problému nebo vyšetřování proto nejsou obecně platná.

4.3. Nezbytná datová základna pro numerické simulace

Numerické simulace lze v zásadě provádět různými způsoby, (A) jako výpočty rozsahu na základě chatrných údajů (diagnostika základních mechanismů, stanovení řádu deformací / napětí, základní testování opatření, studie parametrů atd.) nebo (B) ve formě dimenzování nebo cílené prognózy (stanovení relativně přesných hodnot na základě rozsáhlé a bezpečné databáze).

Dimensionierung bzw. gezielten Prognose (Ermittlung relativ präziser Werte auf Basis einer umfangreichen gesicherten Datenbasis).

Voraussetzung für eine hohe Aussagekraft numerischer Simulationen ist eine gute Datengrundlage, insbesondere wenn die Variante (B) betrachtet wird. Dabei werden Daten für die Modellgeometrie sowie die geomechanischen und hydraulischen Parameter benötigt. Empfohlen wird daher, eine angemessene Datengrundlage zu schaffen und frühzeitig den Dialog über benötigte Daten zu suchen. Dabei sollten die Daten immer in ihrer Gesamtheit betrachtet werden. Denn eventuell lässt sich die Modellgeometrie unter Beachtung geomechanischer Parameter vereinfachen. Die hier vorgestellte Datengrundlage versteht sich als Anregung und zur Sensibilisierung. Die Übersicht in diesen Handlungsempfehlungen ist nicht als vollständig zu betrachten, da jedes geotechnische Problem oder Bauwerk spezifische Merkmale besitzt.

Für Untersuchungsobjekte des Altbergbaus ergibt sich zusätzlich das Problem, dass die Datenbasis oft nur sehr schwach ist und Informationen fehlen. Im besten Fall ist das Objekt noch zugänglich, dann empfiehlt es sich, die nötigen Daten durch geeignete In-Situ-Messungen und Laborversuche zu bestimmen. Ist dies nicht

Kvalitní databáze je předpokladem vysoké informativní hodnoty numerických simulací, zejména je-li zvažována varianta (B). Jsou vyžadovány údaje o geometrii modelu, stejně jako o geomechanických a hydraulických parametrech. Je proto doporučeno vytvořit odpovídající databázi a hledat včas dialog o požadovaných údajích. Data by měla být vždy zohledněna ve své celistvosti. Jelikož geometrii modelu lze s přihlédnutím ke geomechanickým parametrům případně zjednodušit. Zde uvedená databáze je zamýšlena coby podnět a ke zvýšení povědomí. Přehled v těchto doporučeních pro opatření by neměl být považován za úplný, protože každý geotechnický problém nebo stavba má specifické vlastnosti.

U zkoumaných objektů starých důlních děl existuje další problém, databáze je často neúplná a chybí informace. V nejlepším případě je objekt stále přístupný, v takovém případě je vhodné získat potřebná data pomocí vhodných měření in situ a laboratorních testů. Pokud to není možné, je třeba často provést odpovídající zjednodušení (např. zmenšit zobrazené geologické vrstvy), nebo použít údaje z literatury.

möglich, müssen häufig adäquate Vereinfachungen getroffen werden (z.B. Reduzierung der abgebildeten geologischen Schichten), oder es werden Literaturdaten genutzt.

Daten zur Modellgeometrie

Um eine adäquate Modellgeometrie erstellen zu können, sollte zunächst das Modellierungsgebiet präzisiert werden. Zudem müssen die wichtigsten physikalischen Prozesse im Beobachtungsgebiet ermittelt werden. Für das Untersuchungsgebiet sollten, je nach Problemstellung, folgende Daten vorliegen.

- **Geologie und Geometrie des Untersuchungsgebiets:** Am besten in digitaler Form (dabei auf lückenlose Vernetzung achten). Abgrenzung der Schichten/Geologischen Einheiten im Bezug auf die Modellauflösung angemessen wählen. Einheiten mit vernachlässigbaren Parameterunterschieden zusammenfassen.
- **Geometrie des geotechnischen Bauwerks:** Am besten in digitaler Form (dabei auf lückenlose Vernetzung achten). Geometrie nur so komplex wie nötig. Können Symmetrieebenen festgelegt werden, um den Rechenaufwand geringer zu halten?
- **Rand und Anfangsbedingungen:** Rollen-, Spannungs- oder fixierte

Geometrická data modelu

Aby bylo možné vytvořit odpovídající geometrii modelu, je třeba nejprve určit oblast modelování. Kromě toho je třeba ve zkoumané oblasti určit nejdůležitější fyzikální procesy. V závislosti na problému by pro zkoumanou oblast měly být k dispozici následující údaje.

- **Geologie a geometrie zkoumané oblasti:** Nejlépe v digitální podobě (věnujte pozornost bezproblémovému vytváření sítí). Vyberte vhodně vymezení vrstev / geologických jednotek ve vztahu k rozlišení modelu. Shrňte jednotky se zanedbatelnými rozdíly parametrů.
- **Geometrie geotechnické struktury:** Nejlépe v digitální podobě (věnujte pozornost bezproblémovému vytváření sítí). Geometrie jen tak složitá, jak je nutné. Lze určit roviny symetrie, aby bylo dosaženo snížení výpočetního úsilí?
- **Okrajové a počáteční podmínky:** Role, napětí nebo pevné okrajové podmínky. Informace o

Randbedingungen. Informationen über initialen Spannungszustand und Grundwasserregime.

Häufig auftretende Probleme bei der Datenzusammenstellung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Übergabe inkompatibler Datenformate
- Vernetzungen der Geologie und Abbaugeometrien sehr schlecht (Löcher und Lücken in Flächennetzen)
- Flach einfallende geologische Einheiten (führen zu Vernetzungsschwierigkeiten an der Geländeoberkante)
- Unplausibles Überschneiden von einzelnen Abbaugeometrien, geologischen Einheiten oder Störungen
- Vernetzung zu hoch oder zu gering aufgelöst.

Geomechanische Parameter

Die benötigten geomechanischen Parameter ergeben sich aus wirkenden mechanischen Prozessen. Daraus resultiert die Verwendung entsprechender Stoff- und Kontaktstoffgesetze. Die nötigen Gesteinsparameter können meist im Handbuch der verwendeten Software eingesehen werden. Sie sollten, wann immer es möglich ist, mittels gängiger In-Situ-Messungen und/oder Laborversuche gewonnen

počátečním stavu napětí a režimu podzemních vod.

Běžné problémy s kompilací dat lze shrnout takto:

- Přenos nekompatibilních datových formátů
- velmi špatné síťování geologie a těžební geometrie (díry a mezery v plošných sítích)
- Mělké uložení geologických jednotek (vede k problémům se sítí v horní části terénu)
- Nepravděpodobné překrývání jednotlivých těžebních geometrií, geologických jednotek nebo zlomů
- Síť je rozpuštěna příliš vysoko nebo příliš nízko.

Geomechanické parametry

Požadované geomechanické parametry vyplývají z použitých mechanických procesů. Výsledkem je použití příslušných zákonů o materiálech a zákonů o kontaktech materiálů. Potřebné parametry hornin lze obvykle zobrazit v příručce k použitému softwaru. Kdykoli je to možné, měly by být získány pomocí standardních měření in situ nebo laboratorních testů. Tabulka 4-2 ukazuje příklad

werden. Tabelle 4-2 zeigt beispielhaft die benötigten geomechanischen Parameter für zwei Stoffgesetze.

Aufgrund der begrenzten Datenlage für Altbergbau-Fragestellungen sind die Stoffgesetze aus Tabelle 4-2 im Rahmen einer kontinuumsmechanischen Simulation meist ausreichend. Jedoch sind bei der Wahl des Stoffgesetzes die abzubildenden mechanischen Prozesse zu berücksichtigen. Dann könnte es sinnvoller sein komplexere Stoffgesetze zu verwenden. Häufig müssen die geomechanischen Parameter im finalen Modell anhand von Monitoring-Daten kalibriert werden, da die gewählte Vernetzung einen Einfluss auf die numerischen Ergebnisse besitzt und Skaleneffekte berücksichtigt werden müssen.

požadovaných geomechanických parametrů pro dva materiálové zákony.

Kvůli omezenému množství dat týkajících se problémů se starým důlním dílem jsou materiálové zákony z tabulky Tabulka 4-2 v rámci mechanické simulace kontinua obvykle dostačující. Při výběru materiálového zákona je však třeba vzít v úvahu mechanické procesy, které je třeba zmapovat. Pak by mohlo mít větší smysl používat složitější zákony hmoty. Geomechanické parametry ve finálním modelu musí být často kalibrovány pomocí monitorovacích dat, protože vybraná síť má vliv na numerické výsledky a je třeba zohlednit následky měřítka.

Tabelle 4-2: Darstellung zweier ausgewählter Stoffgesetze und der dafür benötigten geomechanischen Parameter.

Tabulka 4-2: Znázornění dvou vybraných materiálových zákonů a požadovaných geomechanických parametrů.

Linear-elastisches Stoffgesetz Lineárně-elastický materiálový zákon	Mohr-Coulomb-Gesetz (plastisch) Mohr-Coulombův zákon (plastický)
Dichte hustota	Dichte hustota
E-Modul	E-Modul
Poisson-Zahl Poissonovo číslo	Poisson-Zahl Poissonovo číslo
-	Zugfestigkeit Pevnost v tahu
-	Kohäsion Soudržnost
-	Reibungswinkel Úhel tření
-	Dilatanzwinkel Dilatační úhel

Hydraulische Parameter

Sind im Rahmen der numerischen Simulation hydraulische Prozesse (z.B. bei Flutungen von Bergwerken oder Tagebauen) an die Mechanik gekoppelt, sind zudem Parameter für die Fluidströmung nötig. Beispielsweise sollten die folgenden Parameter bekannt sein oder abgeschätzt werden.

Hydraulické parametry

Jsou-li v rámci numerické simulace s mechanikou spojeny hydraulické procesy (např. při zaplavování podzemních nebo povrchových dolů), jsou rovněž požadovány parametry pro průtok kapaliny. Měly by být například známy nebo odhadnuty následující parametry.

- **Permeabilität:** Entweder Matrix- oder Kluftpermeabilität, je nach zu untersuchender Problemstellung. Falls nötig anisotrope Permeabilität.
- **Porosität:** Im Falle der Matrixströmung notwendig.
- **Kluftweite:** Falls Kluftpermeabilität nicht bekannt, kann sie daraus abgeschätzt werden.
- **Kompressionsmodul des Fluids**
- **Dichte des Fluids**
- **Initiale Porendruckverteilung / initialer Wasserspiegel**
- **Propustnost:** Buď propustnost matrix nebo puklinová, v závislosti na problému, který má být zkoumán. V případě potřeby anizotropní propustnost.
- **Poréznost:** Nezbytné v případě průtoku přes matrix.
- **Šířka mezery:** Pokud není známa puklinová propustnost, lze ji z ní odhadnout.
- **Kompresní modul kapaliny**
- **Hustota kapaliny**
- **Počáteční distribuce tlaku pórů / počáteční hladina vody**

Hydromechanisch gekoppelt Simulationen sind meist sehr rechenaufwändig. Zudem ist eine direkte Kopplung der beiden Prozesse in manchen Fällen nicht nötig. Dann kann die Berechnung mechanisch durchgeführt werden, wobei zusätzliche Spannungskremente für den Einfluss des Porendrucks genutzt werden. Ein solcher Ansatz reduziert die nötigen Parameter und die benötigte Rechenzeit deutlich, was vor allem bei Altbergbauobjekten hilfreich ist. In Lüttschwager et al. (2020) wurde ein solcher Ansatz im Rahmen des GeoMAP-Projektes für das Revier Luga-Oelsnitz entwickelt.

Hydromechanicky vázané simulace jsou obvykle velmi výpočetně náročné. V některých případech navíc není nutné přímé spojení obou procesů. Výpočet lze poté provést mechanicky s použitím dalších přírůstků napětí pro vliv tlaku pórů. Takový přístup výrazně snižuje požadované parametry a požadovaný výpočetní čas, což je užitečné zejména pro stará důlní díla. Takový přístup byl vyvinut v rámci projektu GeoMAP pro okres Lugau-Oelsnitz. (Lüttschwager et al. 2020).

4.4. Geotechnisches Monitoring und Kalibrierung

Zur Kalibrierung und Validierung der numerischen Ergebnisse sind Monitoring-Daten aus dem Untersuchungsgebiet notwendig. Diese sollten im Idealfall die gesamte Betriebs- und Nachbetriebsphase des geotechnischen Bauwerks erfassen, um eine möglichst detaillierte Datengrundlage zu erhalten und hinreichend genaue Prognosen erstellen zu können. Dabei sollte der Fokus auf den wichtigsten Monitoring-Größen liegen, welche regelmäßig (zeitlich und räumlich) und zusätzlich an kritischen Beobachtungspunkten erfasst werden. Da im Falle von Altbergbauobjekten meist nur wenig Monitoring-Daten aus kurzen Zeiträumen vorliegen, sind hier mögliche Vereinfachungen zu beachten und in die Kalibrierung einzubeziehen. Für seit langem stillgelegte Bergbaulandschaften besitzt die Einbindung von Monitoring-Daten und die Kalibrierung einen großen Stellenwert. Denn die Kalibrierung und der Vergleich mit Messungen helfen die Gesteinsparameter zu kalibrieren und geben detaillierte Einblicke in die wichtigsten geomechanischen Prozesse, welche die Problemstellung beeinflussen. Beim Monitoring sollte generell Wert auf Digitalisierung und Automatisierung gelegt

4.4. Geotechnické monitorování a kalibrace

Ke kalibraci a ověření číselných výsledků jsou nezbytná data monitorování ze studované oblasti. V ideálním případě by měly pokrývat celou provozní a pooperační fázi geotechnické struktury, aby byly získány co nejpodrobnější údaje a bylo možné vytvářet dostatečně přesné předpovědi. Důraz by měl být kladen na nejdůležitější monitorovací parametry, které jsou zaznamenávány pravidelně (časově a prostorově) a také na kritické pozorovací body. Vzhledem k tomu, že v případě starých důlních děl a objektů je obvykle málo monitorovacích dat z krátkých časových období, je třeba zohlednit možná zjednodušení a zahrnout je do kalibrace. Integrace monitorovacích dat a kalibrace má velký význam pro postěžební krajiny dlouho po těžbě. Neboť kalibrace a srovnání s měřeními pomáhá kalibrovat parametry horniny a poskytuje detailní pohled na nejdůležitější geomechanické procesy, které ovlivňují problém. Pokud jde o monitorování, měl by se obecně klást důraz na digitalizaci a automatizaci; toto je jediný způsob, jak data z pozorování efektivně integrovat do numerických simulací.

Tabulka 4-3 zobrazuje malý přehled možných měřených veličin a

werden, nur so können die Beobachtungsdaten effizient in numerische Simulationen eingebunden werden.

Tabelle 4-3 zeigt eine kleine Übersicht der möglichen Messgrößen und ausgewählte zugehörige Messverfahren. Zu geodätischen Messungen lassen sich z.B. Nivellements, Laserscans und GPS-Messungen zählen. Des Weiteren ist es sinnvoll, speziell bei Flutungsprozessen aktuelle Wasserstände zu erfassen. Grubenwasser- oder Grundwasserstände können üblicherweise mit Grubenwassermessstellen erfasst werden.

vybranych přidružených metod měření. Geodetická měření mohou zahrnovat například úrovně, laserové skenování a měření GPS. Dále má smysl zaznamenávat aktuální hladinu vody, zejména při procesech zaplavení. Hladiny důlní nebo podzemní vody lze obvykle zaznamenávat měřicími body důlní vody.

Tabelle 4-3: Monitoring-Daten und mögliche Messverfahren.

Tabulka 4-3: Monitorovací data a možné metody měření.

Verformungen Deformace	Spannungen Napětí
Inklinometer Sklonoměr	Hydro-Frac-Messungen Měření Hydro-Frac
Extensometer Extenzometr	Porenwasserdruck-Messung Měření tlaku vody v pórech
Geodätische Vermessungen Geodetické průzkumy	Auswertung induzierter Seismizität Hodnocení indukované Seismicita
Fernerkundung Dálkový průzkum	Strain-Field-Methode Metoda Strain-Field (kmenového pole)
Konvergenzmessungen Konvergenční měření	Bohrlochrandausbrüche Proražení hran vrtů

Speziell im Altbergbau können Monitoringmaßnahmen wie Nivellements und satellitengestützte Auswertungen (Fernerkundung) der Bodenbewegungen gut eingesetzt werden. Vor allem Satellitendaten bieten die Möglichkeit auch rückwirkend Beobachtungen vorzunehmen. Die zeitliche Grenze liegt dabei beim Beginn der Satellitenaufzeichnung und der Verfügbarkeit der Daten. Die numerische Simulation zu Hebungsprozessen im Revier Lugau-Oelsnitz zeigt eine Anwendung solcher Monitoring-Daten (Lüttschwager et al. 2020). Für Fragestellungen in Bezug auf Halden und Böschungen eignen sich diese Untersuchungen ebenfalls. Auch sollte bei plötzlich aufgetretenen Tagesbrüchen zumindest kurzzeitig ein Monitoring stattfinden, um eine eventuelle Ausweitung zu dokumentieren. Für hydromechanische Fragestellung ist die Überwachung der Wasserstände unerlässlich, wie Lüttschwager et al. (2020) zeigen. Im Idealfall liegen sogar Porendruckmessungen vor.

Monitorovací opatření, jako je nivelace, a satelitní vyhodnocení (dálkový průzkum) pohybů země lze zvláště dobře využít ve starých důlních dílech. Satelitní data nabízejí především možnost zpětného pozorování. Časový limit je na začátku satelitního záznamu a dostupnosti dat. Numerická simulace procesů zdvihu povrchu v okrese Lugau-Oelsnitz ukazuje použití těchto monitorovacích dat (Lüttschwager et al. 2020). Tato vyšetřování jsou vhodná také pro otázky týkající se hald a výsypek. Také v případě náhlého přerušování povrchové těžby by mělo proběhnout alespoň na krátkou dobu monitorování, aby se zdokumentovalo možné rozšíření. U hydromechanických problémů je monitorování hladin vody zásadní, jak je znázorněno (Lüttschwager et al. 2020). V ideálním případě je dokonce k dispozici měření tlaku pórů.

4.5. Ergebnisse numerischer Berechnungen

Jede numerische Simulation liefert ihre eigenen spezifischen Ergebnisse, für die gewählte Modellgeometrie sowie die gewählten Parameter, Rand- und Anfangsbedingungen. Es ist unüblich, Aussagen aus einer numerischen Simulation auf andere Konstellationen der Einflussgrößen zu übertragen, ohne sie vorher durch weitere Rechnungen zu prüfen. Ergebnisse von numerischen Simulationen für in Kapitel 4.1. enthaltene Bergbaufolgen sind beispielsweise Aussagen zu:

- **Deformationen:** Verschiebungsprognosen, Verschiebungsraten oder kritische Verschiebungen und Deformationen (Dehnungen, Stauchungen, Zerrungen) zum Abschätzen von Schwellwerten oder Versagenszuständen. Aber auch resultierende Deformationen aus Brucherscheinung oder der Reaktivierung von Klüften.
- **Spannungen:** Spannungsverteilungen im Untersuchungsgebiet (sekundärer Spannungszustand)
- **Standsicherheitsfaktoren:** Für z.B. Pfeiler, Halden und Böschungen (Konietzky 2021)
- **Zeitliche Entwicklung von Gruben- oder Grundwasserständen.**

4.5. Výsledky numerických výpočtů

Každá numerická simulace přináší pro vybranou geometrii modelu své vlastní specifické výsledky a také vybrané parametry, okrajové a počáteční podmínky. Je neobvyklé přenášet příkazy z numerické simulace do jiných konstelací ovlivňujících proměnných, aniž byste je předem kontrolovali pomocí dalších výpočtů. Výsledky numerických simulací pro těžební sekvence obsažené v Kapitole 4.1. jsou například výpovědi k:

- **Deformacím:** Předpovědi posunu, rychlosti posunu nebo kritické posuny a deformace (prodloužení, stlačení, přetvoření) pro odhad prahových hodnot nebo poruchových stavů. Ale také výsledné deformace z lomových jevů nebo reaktivace trhlin.
- **Napětí:** Distribuce napětí ve studované oblasti (sekundární stav napětí)
- **Faktory stability:** Například pro pilíře, haldy a násypy (Konietzky 2021)
- Vývoj úrovní jámy nebo podzemní vody v průběhu času.

Výsledky lze zobrazit pomocí obrysových grafů, diagramů a časových řad (např. deformací v čase). Obrázek 4-1 ukazuje např. Vizualizaci faktoru stability svahu. Obrázek 4-2 ukazuje například míru zvýšení v okrese Lugau-

Dargestellt werden können die Ergebnisse anhand von Kontur-Plots, Diagrammen und Zeitreihen (z.B. Deformationen über die Zeit. Abbildung 4-1 zeigt z.B. die Visualisierung des Standsicherheitsfaktors einer Böschung. In Abbildung 4-2 ist bspw. die Hebungsrate im Revier Lugau-Oelsnitz in den Jahren 1996 - 2018 zusammen mit den vorhanden Monitoringdaten dargestellt. Aus den gewonnenen Kenntnissen der numerischen Simulation lassen sich dann geeignete geotechnische Maßnahmen ableiten, bzw. die Wirkungen getroffener Maßnahmen nachvollziehen.

Oelsnitz v letech 1996–2018 spolu s dostupnými monitorovacími údaji. Ze znalostí získaných z numerické simulace lze odvodit vhodná geotechnická opatření nebo porozumět účinkům přijatých opatření.

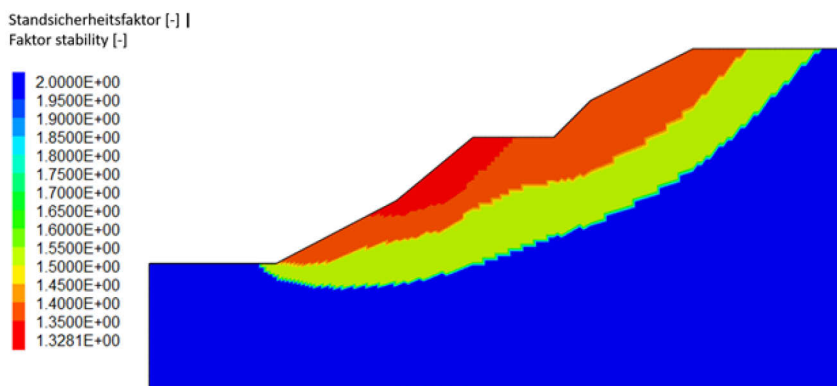


Abbildung 4-1: Standsicherheitsfaktor einer generischen Böschung (Itasca Consulting Group inc., 2019).

Obrázek 4-1: Faktor stability obecného svahu (Itasca Consulting Group inc., 2019).

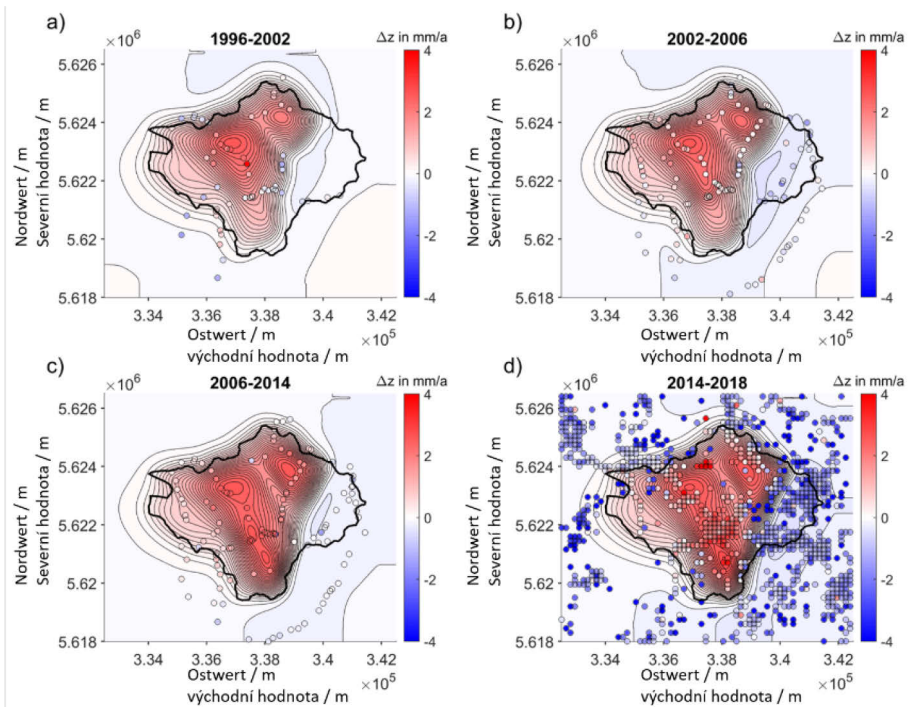


Abbildung 4-2: Hebungsraten im Revier Lugau-Oelsnitz für den Zeitraum 1996-2018 (Kontur - numerische Simulation, Punkte - Nivellement-Messung) (Siehe kapitel 3).

Obrázek 4-2: Míry elevace v okrese Lugau-Oelsnitz pro období 1996-2018 (kontura – numerická simulace, body - měření hladiny) (viz kapitola 3).

4.6. Zusammenfassung

Den ausgewählten und zuvor genannten Nachbergbau-Problemen in Sachsen konnten mögliche numerische Lösungsansätze (FLAC3D, 3DEC) zugeordnet werden. Zudem wurden grundsätzliche Empfehlungen zur benötigten Datengrundlage gegeben, welche sowohl Geometriedaten als auch geomechanische und hydraulische Para-

4.6. Souhrn

K vybraným a dříve zmíněným posttěžbním problémům v Sasku lze přiřadit možné numerické řešení (FLAC3D, 3DEC). Kromě toho byla na základě požadovaných dat uvedena základní doporučení, která zahrnují jak geometrická data, tak geomechanické a hydraulické parametry. Pro monitorování v post-hornických oblastech

meter einbezieht. Für die Überwachung in Nachbergbaugebieten sind generelle Monitoring-Maßnahmen erarbeitet wurden, die teilweise auch für die angegebenen Nachbergbau-Probleme anwendbar sind. Zuletzt konnte veranschaulicht werden, welche Ergebnisse von numerischen Simulationen in Bezug auf Deformationen, Spannungen, etc. zu erwarten sind. Diese Ergebnisse können entweder zur Validierung von getroffenen Maßnahmen oder zur Ableitung zukünftiger geotechnischer Maßnahmen dienen. Vereinfacht lässt sich der Bearbeitungsprozess geotechnischer Fragestellung zu Bergbaufolgen, unter der Nutzung numerischer Lösungsansätze, wie in Abbildung 4-3 darstellen.

byla vyvinuta obecná monitorovací opatření, z nichž některá lze použít také pro specifické post-těžební problémy. Konečně bylo možné ilustrovat, jaké výsledky lze očekávat od numerických simulací s ohledem na deformace, napětí atd. Tyto výsledky lze použít k ověření přijatých opatření nebo k odvození budoucích geotechnických opatření. Zpracování geotechnických problémů souvisejících s důsledky těžby lze zjednodušit pomocí numerických přístupů, jak je uvedeno na Obrázek 4-3.

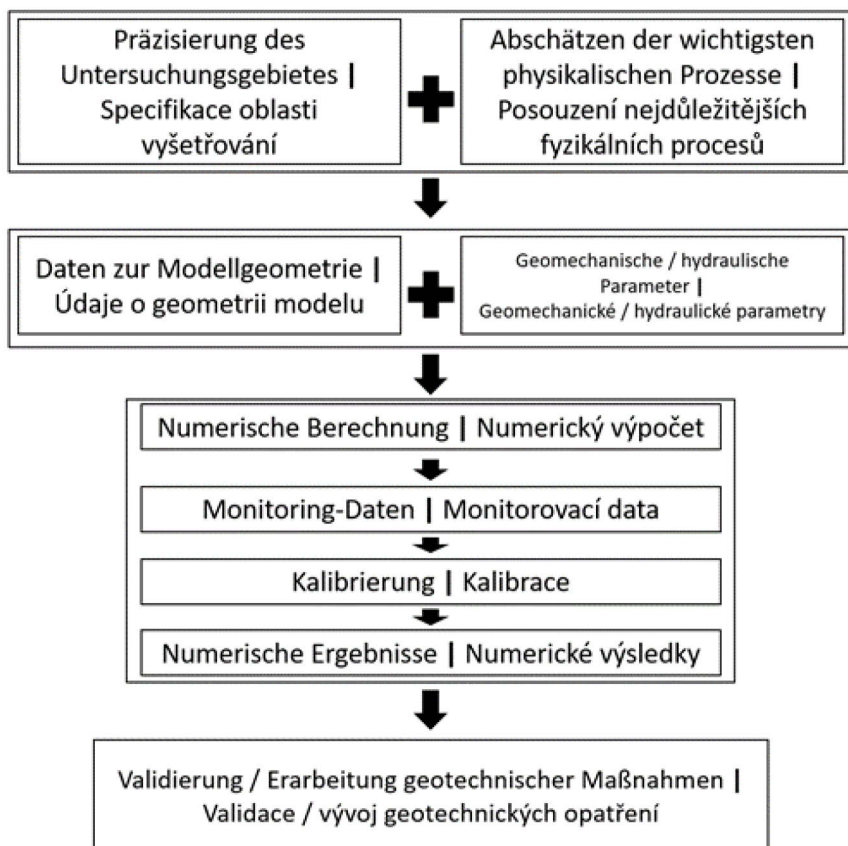


Abbildung 4-3: Vereinfachter Bearbeitungsablauf für Simulationen von Nachbergbau-Problemen.

Obrázek 4-3: Zjednodušená sekvence zpracování pro simulace problémů po těžbě.

Es ist wichtig anzumerken, dass numerische Berechnungsverfahren auf physikalischen Gesetzen unter Berücksichtigung komplexer hydro-mechanischer Kopplungen basieren. Dies ist ein ganz entscheidender Vorteil im Vergleich zu klassischen, eher marktscheiderisch orientierten Ansätzen,

Je důležité uvědomit si, že numerické výpočtové metody jsou založeny na fyzikálních zákonech s přihlédnutím ke složitým hydro-mechanickým vazbám. To je velmi rozhodující výhoda ve srovnání s klasickými, spíše důlně-měřičky orientovanými přístupy, které fungují čistě empiricky a geometricky

die rein empirisch-geometrisch funktionieren und damit komplexe Prozesse nicht abbilden können. Daher wird auch in behördlichen Verfahren (UVP, Betriebspläne etc.) heutzutage der Einsatz numerischer Verfahren gefordert.

Grundsätzlich ist jede numerische Simulation für geotechnische Fragestellungen eine spezifische Problemstellung für ein Untersuchungsgebiet. Daher kann es für spezielle Fälle zu abweichenden Daten, Modellierungsschritten, etc. kommen. Diese Handlungsempfehlungen stellen somit den generellen Arbeitsablauf dar und sollen einen Wissenstransfer und eine Sensibilisierung zu numerischen Simulationen in der Geotechnik darstellen.

a nemohou tak mapovat složité procesy. Proto je dnes v úředních postupech (EIA, operační plány atd.) vyžadováno použití numerických metod.

V zásadě je každá numerická simulace geotechnických problémů specifickým problémem zkoumané oblasti. Proto se ve zvláštních případech mohou objevit různá data, kroky modelování atd. Tato doporučení pro opatření tedy představují obecný pracovní postup a měla by představovat přenos znalostí a senzibilizaci k numerickým simulacím v geotechnickém inženýrství.

Quellenverzeichnis / Použitá literatura

Itasca Consulting Group inc. (2019): FLAC3D 7.0 Documentation. Minneapolis: s.n., 2019.

Konietzky, H. (2021): Factor of safety calculations in geomechanics. E-Books: Introduction into geomechanics. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg - Lehrstuhl Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau, 2021.

Konietzky, H. (2017): Geomechanical methods. [book auth.] Heinz Konietzky. E-Books: Introduction into geomechanics. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg - Lehrstuhl Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau, 2017.

Konietzky, H. (2019): Überblick über numerische Berechnungsverfahren in der Geotechnik. 1. Fachkonferenz im Projekt GeoMAP - Freiberg. Juni 28., 2019, pp. 53-58.

Lüttswager, G., Zhao, J. & Konietzky, H. (2020): Ground movement predictions above coal mines after flooding. 49. Geomechanik-Kolloquium Tagungsbeiträge. Freiberg: Institut für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg, 2020, pp. 107-129.

5. Anschauungsobjekt LP und PP1a: Bergbaufolgen im Lugau/Oelsnitzer Steinkohlenrevier – Vorstellung der Medienstation

5. Prezentací objekt LP a PP1a: Důsledky těžby v uhelném revíru Lugau / Oelsnitz - prezentace mediální stanice

Autoren | Autoři: Rommel, A. ¹, Hädecke, S. ¹, Weber, F. ²

¹ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

² TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

Die Medienstation „Folgen des Bergbaus im Lugau-Oelsnitzer Revier“ wurde im Rahmen des Projektes GeoMAP für das Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge in Kooperation mit der Werbeagentur ö_konzept konzipiert. Dabei wurde die redaktionelle Erstellung der Inhalte durch den LP (LfULG) unter Zuarbeit von PP1a (Institut für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg) übernommen, die technische Umsetzung lag bei der Firma ö_konzept.

Es wurden interaktive Inhalte in Form von 3D-Modellen des geologischen Untergrundes, durch Visualisierung des Grubengebäudes und durch Darstellung von Hebungs- und Senkungsgebieten im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz realisiert, welche über die Medienstation mit Bild, Video und Ton abrufbar sind. Diese wurde zunächst im Rahmen einer Sonderausstellung als Teil der deutschsprachigen

Mediální stanice „Důsledky těžby v revíru Lugau-Oelsnitz“ byla navržena jako součást projektu GeoMAP pro hornické muzeum Oelsnitz / Krušnohoří ve spolupráci s reklamní agenturou ö_konzept. Tvorbu obsahu stanice zaštil LP (LfULG) za pomoci PP1a (Institut geotechniky TU Báňská akademie Freiberg), technickou realizaci provedla společnost ö_konzept.

Interaktivní obsah je ve formě 3D modelů geologického podloží, vizualizace dolu a prezentace oblastí deformací a poklesů povrchu v uhelném revíru Lugau / Oelsnitz, k nimž lze prostřednictvím mediální stanice přistupovat pomocí obrázků, videa a zvuku. Mediální stanice byla poprvé představena v rámci mimořádné výstavy jako součást národní výstavy „Boom. 500 let průmyslové kultury v Sasku“, která se konala v německém jazyce do konce prosince 2020. V rámci výstavy je

Landesausstellung „Boom. 500 Jahre Industriekultur in Sachsen“ bis Ende Dezember 2020 ausgestellt. Im Kontext der Ausstellung ist der Inhalt der Medienstation nur in deutscher Sprache abrufbar. Auf der Website <https://www.geomap.sachsen.de/projektinhalte-4011.html> ist eine Übersetzung in tschechischer Sprache verfügbar.

Nach einer geplanten Unterbrechung des regulären Museumsbetriebs in folge notwendiger Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten wird die Medienstation anschließend wieder als Bestandteil der Dauerausstellung zu besichtigen sein.

Im folgendem Text wird ein Abriss der Funktionen und des Inhalts der Medienstation gegeben.

Die Tageszeitung Blick¹ schrieb am 11.07.2020 über die Ausstellung KohleBOOM: „ [...] *Erstmals wird die Geschichte des sächsischen Steinkohlebergbaus in der Form gezeigt. Das gab es so noch nie.*“ *Man hat während der Vorbereitung wissenschaftlich gearbeitet und Ergebnisse zu Tage gefördert, welche die Bedeutung des Steinkohlebergbaus im Rahmen der Industrialisierung zeigen.*“ *Neu ist die Halle 19 - dort können Besucher anhand eines Zeitstrahls die Geschichte nachvollziehen. Die Landesausstellung jetzt ist ein Vorgeschmack auf das, was Besucher ab 2023 nach Fertigstellung der Sanierung und Umgestaltung des Museums erwartet.“*

inhalt mediální stanice k dispozici v němčině. Na webových stránkách <https://www.geomap.sachsen.de/cz/projektinhalte-4011.html> je k dispozici překlad do českého jazyka.

Po plánovaném přerušení běžného muzejního provozu v důsledku nezbytných rekonstrukčních a modernizačních prací bude mediální stanice znovu součástí stálé expozice.

Následující text poskytuje přehled funkcí a obsahu mediální stanice.

Dne 11. července 2020 napsal deník Blick o výstavě KohlenBOOM: „[...] Poprvé je v ucelené formě představena historie saské těžby černého uhlí. Nikdy předtím takto představena nebyla.“ Během přípravy probíhaly vědecké výzkumy a výsledky vynesené na světlo ukazují důležitost těžby uhlí v kontextu industrializace. “ Hala č. 19 je nová - návštěvníci zde mohou sledovat historii pomocí časové osy. Národní výstava je nyní předzvěstí toho, co mohou návštěvníci očekávat od roku 2023 po dokončení rekonstrukce a přestavby muzea. “

Die Medienstation wurde ebenfalls in der eigens für die Landesausstellung renovierten Halle 19 auf dem Ausstellungsgelände in Oelsnitz ausgestellt (Abbildung 5-1). Die Inhalte sind über das touch-empfindliche Multimedia-Display im Inneren des Ausstellungsobjektes abrufbar. Auf diesem können verschiedene Optionen aufgerufen werden. Zum einen können 5 Kurzfilme abgespielt werden, in denen populärwissenschaftlich die Themen „Geologie und Bergbau im Lugau-Oelsnitzer Revier“, „Wasser – Aus der Tiefe kommt das Wasser“, „Hebung und Senkung – eine bewegte Geschichte“ samt „Hebungsmodellierung infolge des Grubenwasseranstiegs“ und „Halden – Gefahren der künstlichen Berge“ dargestellt werden (Abbildung 5-2). Zum anderen können weiterführende Erklärungen über Informations-Boxen aufgerufen werden.

stanice byla vystavena v hale č. 19, která byla speciálně zrekonstruována na výstavišti ve městě Oelsnitz pro národní výstavu (obr. 5-1). Obsah lze vyvolat prostřednictvím dotykového multimediálního displeje uvnitř výstavního objektu. V nabídce jsou různé možnosti prezentací témat. Jednak lze přehrát 5 krátkých filmů, ve kterých se představí populárně-vědecká témata „Geologie a těžba v revíru Lugau-Oelsnitz“, „Voda stoupá z hlubin“, „Deformace a poklesy - bohatá historie“ spolu s tématy „Modelování deformací v důsledku vzestupu hladiny důlní vody“ a „Haldy - nebezpečí umělých hor“ (obr. 5-2). A dále je možné podrobnější vysvětlení témat zobrazit pomocí informačních polí.



Abbildung 5-1: Medienstation mit Multimedia-Display im Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge.
Foto: R. Oeser.

Obrázek 5-1: Mediální stanice s multimediálním displejem v hornickém muzeu Oelsnitz / Krušnohoří. Foto: R. Oeser.



Abbildung 5-2: Übersichtsbildschirm der Medienstation. Durch eine Berührung der farblich hervorgehobenen Bereiche wird der jeweilige Video-Clip gestartet.

Obrázek 5-2: Přehledová obrazovka mediální stanice. Příslušný videoklip se spustí dotykem na zvýrazněné oblasti. „Folgen des Bergbaus“ = Důsledky těžby v revíru Lugau-Oelsnitz; „Wasser“ = Voda; „Halden“ = Haldy; „Hebung und Senkung“ = Deformace & pokles.

5.1 Videobeiträge

Die Videos erreichen in Summe eine Länge von etwa 15 Minuten. In einem **Intro** wird erklärt, wie der Untergrund im Raum Lugau/Oelsnitz aussieht, wo und in welcher Tiefe die Steinkohle lagert (Abbildung 5-3) und wie intensiv man diese seit Mitte des 19. Jahrhunderts abgebaut hat (Abbildung 5-4a). Diese Hinterlassenschaften von knapp 130 Jahren Bergbau sind bis heute ein wichtiges Thema für Fachleute und insbesondere für die betroffenen Kommunen und ihre Einwohner. Die verschiedenen derzeit existierenden Gefahren werden als Einzelthemen in den folgenden Informationsfilmen aufgegriffen:

Im Video **„Wasser – Aus der Tiefe kommt das Wasser“** wird verdeutlicht, wie der natürliche Grundwasserspiegel im Zeitraum des Steinkohleabbaus abgesenkt und konstant auf diesem künstlichen Niveau gehalten wird (Abbildung 5-4b). Nach dem Ende der bergbaulichen Aktivität wurde auch die Wasserhaltung eingestellt und der Grundwasserspiegel stieg wieder an. In einer Simulation wird gezeigt, dass das steigende Grubenwasser prognostiziert nach 2032 in niedriger gelegenen Bereichen an der Erdoberfläche austreten wird. Anhand von qualifizierten Wasserhaltungsmaßnahmen,

5.1. Video příspěvky:

Videa jsou dlouhá přibližně 15 minut. Na úvod je vysvětleno, jak vypadá podloží v oblasti Lugau / Oelsnitz, kde a v jaké hloubce je uloženo uhlí (obr. 5-3) a s jakou intenzitou bylo těženo od poloviny 19. století (obr. 5-4a). Toto dědictví téměř 130ti let těžby je stále důležitým tématem pro odborníky, zejména pro těžbou zasažené komunity a jejich obyvatele. O různých aktuálně existujících nebezpečích jako o samostatných tématech pojednávají následující informační filmy:

Video **„Voda - stoupá z hlubin“** ukazuje, jak se přirozená hladina podzemní vody snížila během období těžby uhlí a konstantně se na této umělé úrovni udržovala (obr. 5-4b). Po ukončení těžební činnosti bylo také zastaveno odvodňování a hladina podzemní vody opět stoupla. Simulace ukazuje, že dle prognózy bude stoupající důlní voda v níže položených oblastech vystupovat po roce 2032 také nad zemský povrch. Tento důsledek však lze regulovat pomocí kvalifikovaných odvodňovacích opatření.

Další video **„Haldy - nebezpečí umělých hor“** ukazuje haldy uložené v oblasti během aktivní fáze těžby. Je znázorněno nebezpečí doutnajících požárů a to, jak se těžké kovy v haldách obsažené (např. kadmium, zinek, měď, arsen a olovo) uvolňují srážením

kann dieser Effekt jedoch kontrolliert werden.

Die nächste Videosequenz **„Halden – Gefahren der künstlichen Berge“** zeigt die im Laufe der aktiven Bergbauphase abgelagerten Halden im Revier. Dabei wird die Gefahr durch Schwelbrände dargestellt und wie die im Haldenmaterial enthaltenen Schwermetalle (zum Beispiel Cadmium, Zink, Kupfer, Arsen und Blei) durch Niederschläge freigesetzt und in das Grundwasser gelangen können (Abbildung 5-4c). Die Halden wurden im Zuge dieser Erkenntnis geologisch und hydrogeologisch untersucht und in Gefährdungskategorien unterteilt. Im Vergleich zu Halden aus dem Erzbergbau wurden diese jedoch mit einem geringen Gefährdungsrisiko bewertet. Als mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Halden werden Erneuerungen an den Abdeckungen (insbesondere in exponierten Bereichen) sowie die Förderung der Naturverjüngung auf den Halden vorgeschlagen. So kann voraussichtlich das Gefährdungspotential der Sickerwässer verringert werden.

Der Video-Clip **„Hebung und Senkung – eine bewegte Geschichte“** veranschaulicht wie und in welchem Umfang es auf dem etwa 5 x 6 km umfassenden Gebiet des Lugau-Oelsnitzer Reviers zu Bodenbewegungen kommt. Nach dem Abbau der Kohle verblieb

a mohou se dostat do podzemních vod (obr. 5-4c). V procesu geologického a hydrogeologického průzkumu byly haldy rozděleny do kategorií nebezpečnosti. Ve srovnání s haldami po těžbě rud však byly hodnoceny jako oblasti s nízkým rizikem. Jako možná opatření ke zlepšení hald se navrhuje obnova půdního a vegetačního pokryvu (zejména v exponovaných oblastech) a podpora přirozené regenerace na haldách. Tímto způsobem lze pravděpodobně snížit rizikový potenciál prosakující vody.

Videoklip **„Deformace a poklesy - bohatá historie“** ukazuje, jak a do jaké míry dochází k povrchovým poklesům terénu v oblasti přibližně 5 x 6 km v uhelném revíru Lugau-Oelsnitz. Po vytěžení uhlí zůstala v podzemí částečně vyplněná dutina odpovídající rozsahu těžby. Postupem času došlo k deformaci a poklesu nadloží. Tento pohyb pokračoval vrstvu po vrstvě až na zemský povrch, kde vznikla prohlubeň (obr. 5-4d). Zejména na okrajích této prohlubně se v horninách stále vyskytuje napětí, které poškozují infrastrukturu a budovy. Rozdíly v nadmořských výškách, dané různými historickými úrovněmi těžby v revíru, měly za následek poklesy půdy v terénu v řádu několika metrů. V průběhu desetiletí trvajících vzestupu hladiny důlní vody se od roku 1997 v oblasti vyskytovaly také známky

ein entsprechend großer, teilverfüllter Hohlraum untertage zurück. Im Laufe der Zeit brach das überlagernde Deckgebirge nach. Diese Verbruchbewegung setzte sich Schicht auf Schicht bis zur Erdoberfläche fort, wo sich eine Senkungsmulde bildete (Abbildung 5-4d). Vor allem an den Rändern dieser Mulde treten auch heute noch hohe Spannungen auf, wodurch Schäden an Infrastruktur und Gebäuden entstehen. Durch historische Reviernivellements ermittelte Höhenunterschiede ergaben Setzungserscheinungen von teils mehreren Metern im Gelände. Im Zuge des seit Jahrzehnten voranschreitenden Grubenwasseranstiegs kommt es seit etwa 1997 auch zu Hebungerscheinungen im Revier von durchschnittlich 2 mm pro Jahr.

Ein Teaser zur Medienstation kann auch auf der Webseite www.geomap.sachsen.de angeschaut werden.

výzdvihu terénu v průměru o 2 mm ročně.

Ukázku mediální stanice si můžete také prohlédnout na webových stránkách www.geomap.sachsen.de.

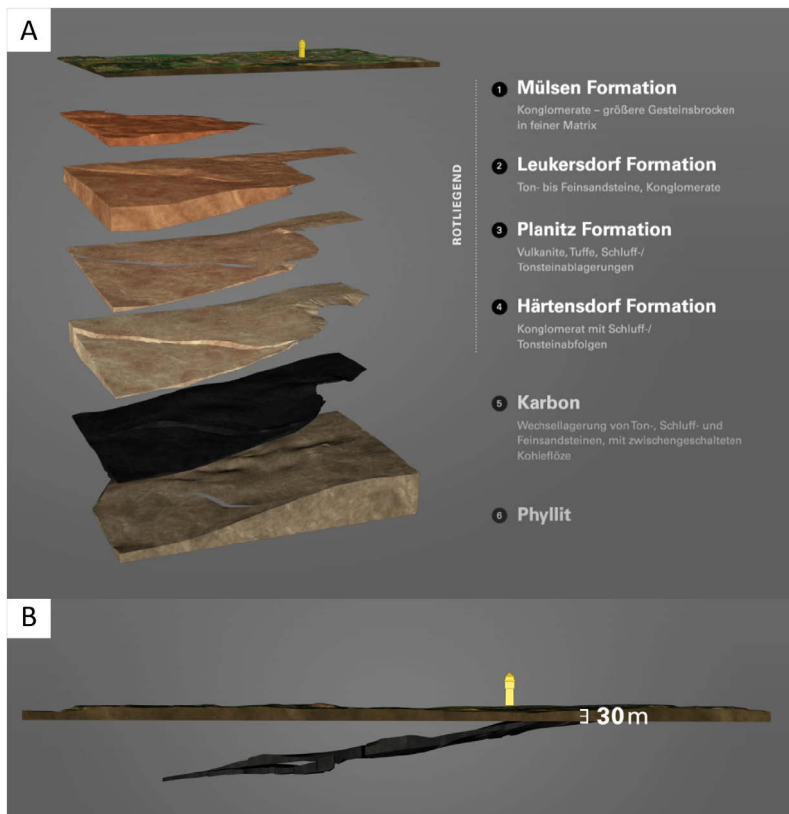


Abbildung 5-3: Aufbau des geologischen Untergrundes im Bereich des Steinkohlenreviers Lugau-Oelsnitz auf der Grundlage des vorliegenden 3D-Strukturmodells: A) Stratigraphische Gliederung B) Querschnitt durch das Revier mit Hauptaugenmerk auf das kohleführende Karbon (schwarz) sowie der Mächtigkeit im Kontaktbereich mit der Oberfläche. Die gelbe Markierung in beiden Abbildungen zeigt die Lage des Förderturms des Kaiserin-Augusta-Schachtes an.

Obrázek 5-3: Struktura geologického podloží v oblasti revíru Lugau-Oelsnitz na základě současného prostorového strukturního modelu: A) Stratigrafická struktura B) Průřez oblastí s hlavním zaměřením na uhlí nesoucí karbon (černý) a mocnost v oblasti kontaktu s povrchem. Žluté značení na obou obrázcích ukazuje polohu točivé věže šachty Kaiserin -Augusta. (1) Mülsenformace Slepence - větší valouny v jemnozrné základní hmotě; (2) Leukersdorf-formace: Jílovité - až jemnozrné pískovce, slepence; (3) Planitz-formace: Sopečné horniny, tufy, nánosy jílu / jílovce; (4) Härtensdorf-formace: Slepence s vrstvami jílu / jílovce; (5) Karbon: Střídavé ukládání jílu, bahna a jemnozrného pískovce, mezi kterými jsou uhelné slaje; (6) Fylit; Rotlegend = dolní perm.



Abbildung 5-4: Ausschnitte aus den einzelnen Videosequenzen der Medienstation. A) Lage der größeren Tageschächte, die alle bis 1971 stillgelegt wurden. B) Absenkung des Grubenwassers im Zuge der Wasserhaltung. C) Durch Niederschläge werden die Schwermetalle in den Halden mobilisiert und ins Grundwasser abgeleitet. D) Die im Untergrund existierenden Hohlräume werden einerseits durch Versatzmaterial aber auch durch nachbrechendes Gestein verfüllt, wodurch Setzungserscheinungen an der Oberfläche entstehen.

Obrázek 5-4: Ukázky z jednotlivých video sekvencí mediální stanice. A) Rozmístění větších šachet na povrchu, které byly všechny uzavřeny do roku 1971. B) Pokles hladiny podzemní vody během odvodňování. C) Těžké kovy v haldách jsou srážením mobilizovány a vypouštěny do podzemních vod. D) Dutiny existující v podloží jsou na jedné straně vyplněny zásyповým materiálem, ale také rozdrcenou horninou, výsledným efektem jsou poklesy povrchu.

5.2 Informations-Boxen

Die Informations-Boxen enthalten weiterführende Texte zu den Themenbereichen „Wasser“, „Halden“ und „Bodenbewegung“.

Im Themenbaum „**Wasser**“ wird über den Grubenwasseranstieg und dessen Monitoring, sowie zur Thematik Anstiegsprognose informiert. Insbesondere werden auch die EU-Projekte GeoMAP und Vita-Min in Kurzform vorgestellt.

Unter dem Überbegriff „**Halden**“ finden sich unter anderem Informationen zu Haldenkörpern und deren Sanierung, sowie Einblicke in die Problematik der schwermetallhaltigen Sickerwässer und vereinzelt vorkommender Haldenbrände.

Im Komplex „**Bodenbewegung**“ sind Hebungsmodellierungen des Untergrundes (Video des PP1a), Informationen zum Reviernivellement und Fernerkundungsdaten sowie das prinzipielle Vorgehen bei einer Schachtsanierung aufgeführt. Weiterhin wird in jedem Abschnitt ein Lexikon mit Fachbegriffen aufgeführt.

Das bereits erwähnte Video zur Veranschaulichung der **Hebungsmodellierung**, erstellt durch PP1a, zeigt die ersten Ergebnisse infolge des Grubenwasseranstiegs für das Revier Lugau/Oelsnitz. Darin enthalten sind

5.2. Informační pole

Informační pole obsahují další texty k tématům „voda“, „haldy“ a „pohyb půdy“.

V tematickém subjektu „**Voda**“ jsou uvedeny informace o vzestupu hladiny důlní vody a jejím monitorování a také téma prognózy růstu. Stručně jsou představeny zejména evropské projekty GeoMAP a Vita-Min.

Zastřešující téma „**haldy**“ zahrnuje informace o haldách a jejich sanaci, jakož i poznatky o problémech prosakující vody obsahující těžké kovy a příležitostných požárech haldy.

V části „**Deformace a poklesy**“ je uvedena modelace zdvihání podloží (video PP1a), informace o vyrovnávání povrchu terénu a o dálkovém průzkumu Země, jakož i o základním postupu sanace šachty. V každé části je uveden lexikon s odbornými termíny.

Výše uvedené video pro ilustraci **modelování zdvihání**, vytvořené PP1a, ukazuje první výsledky důsledku vzestupu hladiny důlní vody pro oblast Lugau/Oelsnitz. Kromě modelu geologické struktury zahrnuje čtyři nejdůležitější sloje, které byly předmětem těžby. Ukazuje se, že výsledky modelování lze kvalitativně velmi dobře interpretovat a je možné

neben der geologischen Struktur die vier wichtigsten Flöze, die Gegenstand des Abbaus waren. Es wird veranschaulicht, dass die Ergebnisse der Modellierung qualitativ sehr gut interpretiert werden können und ein Vergleich mit gemessenen Hebungen an der Geländeoberkante möglich ist. Zudem wird auf bekannte Unklarheiten in der Datenlage, wie beispielsweise die Abbaumächtigkeit und den Versatzzustand eingegangen, um die Interessenten für die Aussagekraft der dargestellten Ergebnisse zu sensibilisieren.

Der Inhalt der Informations-Boxen ist frei zugänglich als PDF-Dokument auf der Webseite www.geomap.sachsen.de, Reiter „Projekthinhalte“ abrufbar.

Fußnote / Poznámka pod čarou

¹ <https://www.blick.de/erzgebirge/bergbaumuseum-praesentiert-schauplatz-kohleboom-artikel10941956>; 19.05.2021

jejich srovnání s naměřenými deformacemi na povrchu. Aby se zvýšila citlivost hodnoty zájmových informací prezentovaných výsledků, jsou kromě toho řešeny známé nejasnosti v datech, jako je mocnost těžby a stav zásypu dutiny.


Obsah informačních polí je volně přístupný v němčině jako dokument PDF na kartě „Projekthinhalte“ na webu www.geomap.sachsen.de.

6. Stillgelegte Bergwerke als regenerative Energiequelle

6. Vyřazené doly jako regenerativní zdroj energie

Autoren | Autoři:  Oppelt, L. ¹,  Pose, S. ¹,  Grab, T. ¹,  Fieback, T. ¹

¹ TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik

 Lukas.Oppelt@ttd.tu-freiberg.de, Sebastian.Pose@ttd.tu-freiberg.de,
Thomas.Grab@ttd.tu-freiberg.de, Tobias.Fieback@ttd.tu-freiberg.de

Zusammenfassung

Die Nachsorge von stillgelegten Bergbaugebieten kann einen enormen Aufwand erfordern und verursacht dadurch auch umfangreiche Kosten. Doch es gibt eine Möglichkeit diese Nachsorgemaßnahmen auch positiv zu nutzen: als Energiequelle. Grubenwasser aus aktiven oder stillgelegten Bergwerken kann zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden. Der Lehrstuhl für technische Thermodynamik arbeitete bereits in mehreren internationalen Projekten (z.B. VODAMIN II) an der Überwachung und Optimierung von Wärmeübertragern, im Rahmen des Projektes GeoMAP konnte auf diesem Wissen aufbauend ein Demonstrationsobjekt zur energetischen Grubenwassernutzung entwickelt werden. Dieser Versuchsstand stellt eine Grubenwassergeothermieanlage im Labormaßstab dar und kann somit genutzt werden um z.B. auf Fachkonferenzen Interessierten diese erneuerbare Energiequelle näherzubringen.

Shrnutí

Následná péče o nepoužívané těžební oblasti může vyžadovat enormní úsilí, a tedy i značné náklady. Existuje však možnost, jak lze tato opatření následné péče využít pozitivně: jako zdroj energie. Důlní voda z aktivních nebo nepoužívaných dolů může být použita pro vytápění a chlazení. Katedra technické termodynamiky pracovala na monitorování a optimalizaci výměníků tepla již v několika mezinárodních projektech (např. VODAMIN II), v rámci projektu GeoMAP bylo na základě těchto znalostí vyvinuto demonstrační zařízení pro energetické využití důlní vody. Toto zařízení představuje v laboratorním měřítku geotermální systém důlní vody, a proto je lze využít například na odborných konferencích pro představení zájemcům o tento obnovitelný zdroj energie. S tímto demonstračním zařízením lze navíc zkoušet inovativní konfigurace tepelného výměníku, jelikož se na mnoha místech v současné době stále vyskytuje problém, kdy se ve

Zusätzlich können mit diesem Demonstrationsobjekt innovative Wärmeübertragerkonfigurationen erprobt werden, denn aktuell besteht an sehr vielen Standorten noch das Problem, dass sich durch im Grubenwasser mitgeführte Frachten Ablagerungen im Wärmeübertrager bilden. Dadurch wird die nutzbare Wärmemenge erheblich reduziert. Erste erfolgreiche Versuche an einem tschechischen Standort zeigten, dass z.B. eine Silber-Nano-Beschichtung erfolgsversprechende Ergebnisse liefert.

Zusätzlich wurde im Rahmen des Projektes ein Zusatzzertifikat für Studierende erarbeitet, welches durch drei der weltweit größten Fachverbände im Bereich Erneuerbare Energien und Ressourcenmanagement unterstützt wird.

6.1. Grubenwasser als Energiequelle

Europa war Jahrtausende lang durch den Bergbau geprägt. Auch in der erzbirgischen Grenzregion zwischen Sachsen und Tschechien haben sich viele Kommunen durch den Bergbau entwickelt, unter anderem Freiberg. Nun erfordert der Strukturwandel Nachsorgemaßnahmen, wie zum Beispiel die gezielte Ableitung der anfallenden Grubenwässer, sowie Sicherungsmaßnahmen. Der Bergbau hat weiterhin sichtbare Spuren hinterlassen, beispielsweise das Absinken der

výměníku tepla tvoří usazeniny v důsledku rozpuštěných látek transportovaných důlní vodou. Tento fakt významně snižuje množství využitelného tepla. První úspěšné testy na české lokalitě ukázaly, že například stříbrný nano povlak přináší slibné výsledky.

Kromě toho byl v rámci projektu vypracován dodatečný certifikát pro studenty, který je podporován třemi z největších světových profesních sdružení v oblasti obnovitelných energií a správy zdrojů.

6.1. Důlní voda jako zdroj energie

Po tisíciletí byla Evropa formována těžbou. Také v krušnohorském příhraničním regionu mezi Saskem a Českou republikou vzniklo díky těžbě mnoho obcí, včetně obce Freiberg. Strukturální změna nyní vyžaduje následná post-těžební opatření, jakými jsou např. cílené čerpání důlních vod, jakož i další bezpečnostní opatření. Těžba po sobě zanechala viditelné stopy, například zaplavení míst na povrchu v důsledku těžby černého uhlí, kupříkladu v bývalém okrese

Oberfläche durch den Abbau von Steinkohle z.B. im ehemaligen Revier Lugau/Oelsnitz. Eine vollständige, unkontrollierte Flutung des Bergwerks würde hier unweigerlich zu Schäden führen. Diese Problematik besteht weltweit: in vielen ehemaligen Bergbauregionen muss nach der Stilllegung von Revieren das Grubenwasser weiter abgeführt werden, um eine Bewegung oder Vernässung der Oberfläche, sowie eine Kontaminierung des Grundwassers zu verhindern.

Doch dieses Grubenwasser bietet auch Chancen: es kann als erneuerbare Energiequelle genutzt werden. Aufgrund des ganzjährig nahezu konstanten Temperaturniveaus des Wassers und des Gesteins als riesige wärmeübertragende Fläche eignet es sich hervorragend zum Heizen und Kühlen von Gebäuden. Insgesamt sind weltweit 42 Anlagen zur Beheizung von z.B. Wohngebäuden, Schulen oder Freizeiteinrichtungen in Betrieb. Diese haben eine Gesamtleistung von 195 MW zum Heizen und 2,5 MW zum Kühlen (Oppelt et al. 2021). Einen Überblick über die aktiven, stillgelegten und geplanten Anlagen liefert Grab et al. (2018) sowie Oppelt et al. (2021).

Um das Grubenwasser energetisch nutzen zu können, muss dem Wasser Wärme entzogen (Heizen), bzw. zuge-

Lugau/Oelsnitz. Úplné a nekontrolované zaplavení dolu by zde nevyhnutelně vedlo ke značným škodám. Tento problém se vyskytuje všude ve světě: v mnoha bývalých těžebních oblastech musí být po uzavření těžebních oblastí voda z dolu čerpána, aby se zabránilo pohybu nebo zamokření povrchu a kontaminaci podzemních vod.

Avšak tato důlní voda nabízí také možnosti využití: lze ji použít jako obnovitelný zdroj energie. Na základě celoroční, téměř konstantní teplotní úrovně vody a hornin, které představují obrovskou plochou pro přenos tepla, je důlní voda ideální pro vytápění a chlazení budov. Po celém světě je v provozu celkem 42 systémů sloužících k vytápění např. obytných budov, škol nebo zařízení pro volný čas. Dohromady mají celkový výkon 195 MW pro vytápění a 2,5 MW pro chlazení (Oppelt 2021). Přehled aktivních, vyřazených z provozu a plánovaných elektráren uvádí Grab et al. (2018) a také Oppelt et al. (2021).

Aby bylo možné energeticky využívat důlní vodu, musí být teplo z vody odebíráno (topení) nebo přidáváno (chlazení). Princip nejčastěji používaný k výrobě energie z důlní vody je uveden na obrázku 6-1.

führt (Kühlen) werden. Das am häufigsten eingesetzte Prinzip zur Energiegewinnung aus Grubenwasser ist in Abbildung 6-1 dargestellt.

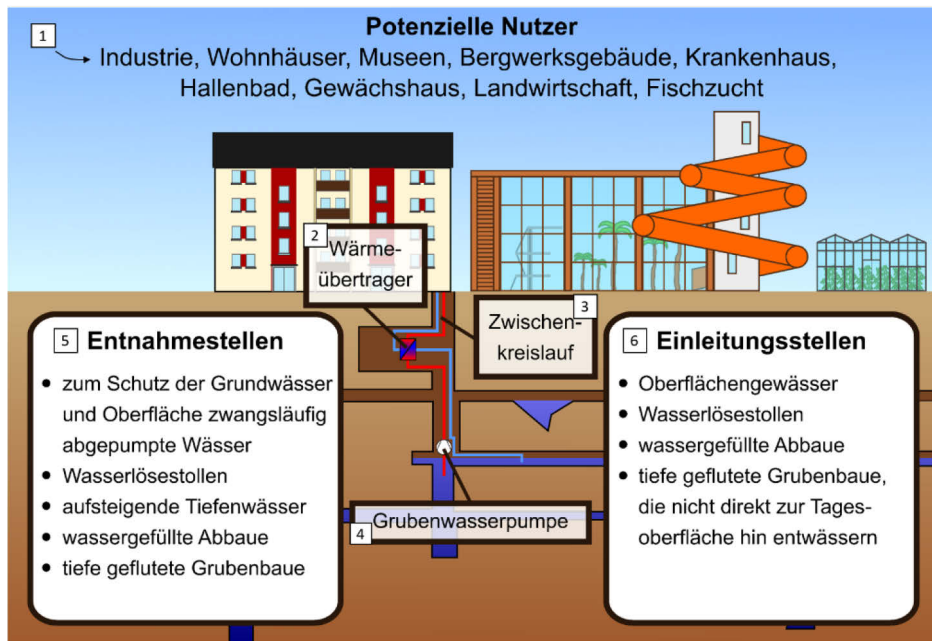


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung des grundlegenden Prinzips zur energetischen Grubenwassernutzung sowie mögliche Entnahme-, Einleitungsstellen und potenzielle Nutzer (nach Oppelt 2020a).

Obrázek 6-1: Schematické znázornění základního principu energetického využití důlní vody, jakož i možných míst odběru a vypouštění a potenciálních uživatelů (podle Oppelta 2020a). Překlad z textu: (1) Potenciální uživatelé; Průmysl, obytné budovy, muzea, budovy dolů, nemocnice, kryté bazény, skleníky, zemědělství, chov ryb; (2) Výměník tepla; (3) mezi-obvod; (4) Čerpadlo důlní vody; (5) Místa k odčerpávání za účelem ochrany podzemních vod a povrchů, nevyhnutelně odčerpávaná voda, tunely pro uvolňování vody, stoupající hluboké vody, vodou naplněné doly, hluboce zaplavená důlní díla; (6) Vypouštěcí body pro povrchovou vodu, tunely pro vypouštění vody, výkopy naplněné vodou, hluboce zaplavené jámy, které neodvádějí vodu přímo na povrch.

Beim Heizen wird das Grubenwasser zunächst z.B. aus einem Entwässerungsstollen entnommen und zu einem Wärmeübertrager geführt. Dort wird das Grubenwasser abgekühlt, in dem die Wärme an eine Flüssigkeit (z.B. Wasser-Glycol-Gemisch) im Zwischenkreislauf abgegeben wird. Das nun abgekühlte Grubenwasser wird z.B. zurück in den Entwässerungsstollen oder in ein Oberflächengewässer abgeführt.

An den meisten Standorten hat das Grubenwasser eine Temperatur zwischen 15 und 30 °C, dies reicht nicht aus um es direkt zum Heizen zu verwenden. Die Wärme wird deshalb über den Zwischenkreislauf zu einer Wärmepumpe geführt. Diese erhöht unter Nutzung von einer vergleichsweise geringen Menge an elektrischer Energie (elektrische Wärmepumpe) oder Gas (Gaswärmepumpe) das Temperaturniveau, um eine Beheizung von z.B. Wohnhäusern, Schulen oder auch Gewächshäusern zu ermöglichen. Der Vorteil von Wärmepumpen ist deren hohe Effizienz. So kann bei einer elektrischen Wärmepumpe mit einer Leistungszahl (COP) von 5 aus 10kW Strom 50 kW Wärme bereitgestellt und genutzt werden. Diese Differenz wird durch das bereits vorhandene Wärmepotential des Grubenwassers zur Verfügung gestellt.

Při zahřívání se důlní voda nejprve odebírá například z drenážního tunelu a přivádí se do výměníku tepla. Tam se důlní voda zchladí, přičemž se teplo přenáší na kapalinu (např. směs vody a glykolu) v meziobvodu. V tuto chvíli se například ochlazená důlní voda vypouští zpět do drenážního tunelu nebo do povrchové vody.

Na většině míst má důlní voda teplotu mezi 15 a 30 °C, což nestačí k přímému použití pro vytápění. Teplo je proto přiváděno do tepelného čerpadla přes meziobvod. Toto zvyšuje úroveň teploty použitím poměrně malého množství elektrické energie (elektrické tepelné čerpadlo) nebo plynu (plynové tepelné čerpadlo) tak, aby bylo možné vytápět např. obytné budovy, školy nebo dokonce skleníky. Výhodou tepelných čerpadel je jejich vysoká účinnost. S elektrickým tepelným čerpadlem s výkonovým koeficientem (COP) 5 lze zajistit a využít 50 kW tepla z 10 kW elektřiny. Tento rozdíl je dán již existujícím tepelným potenciálem důlní vody.

V případě využití k chlazení je teplo odváděno do budovy určené k chlazení, kde dojde ke snížení teploty. Toto extrahované teplo se odvádí meziobvodem a poté se předává ve výměníku tepla do důlní vody, která se ohřívá v závislosti na množství přivedeného tepla.

Bei der Kühlanwendung, wird dem zu kühlenden Gebäude Wärme abgeführt um die Temperatur dort zu senken. Diese entzogene Wärme wird über den Zwischenkreislauf transportiert und dann im Wärmeübertrager an das Grubenwasser abgegeben, welches sich dadurch in Abhängigkeit der eingebrachten Wärmemenge erwärmt.

Ein zentrales Problem bei der energetischen Nutzung von Grubenwasser – sowohl beim Heizen als auch beim Kühlen – besteht darin, dass die Grubenwasser Frachten wie Bakterien, Partikel oder gelöste Stoffe mitführen. Diese Frachten können dafür sorgen, dass sich auf technischen Bauteilen Ablagerungen bilden, welche als *Fouling* bezeichnet werden. Um eine Verschmutzung in der Wärmepumpe zu verhindern, wird meist der oben beschriebene Zwischenkreislauf eingesetzt, die Ablagerungen bilden sich dann im Wärmeübertrager aus. Diese sind dabei stark standortabhängig und unterliegen verschiedenen Einflussbedingungen z.B. dem Volumenstrom, der Wasserchemie und der Temperaturdifferenz um die das Grubenwasser abgekühlt (Heizbetrieb), bzw. erwärmt (Kühlbetrieb) wird. Dabei können z.B. durch die Temperaturänderungen Löslichkeitsgrenzen unter- oder überschritten werden. Weiterhin hat die Zuführung von Sauerstoff aus

Ústředním problémem energetického využití důlní vody jak pro vytápění, tak pro chlazení, je skutečnost, že důlní voda je zatížena bakteriemi, částicemi nebo rozpuštěnými látkami. Tyto zátěže mohou na technických součástech způsobit tvorbu usazenin, které se označují jako znečištění. Aby se zabránilo znečištění tepelného čerpadla, používá se obvykle výše popsaný meziobvod; usazeniny se poté tvoří ve výměníku tepla. Tyto jsou přitom vysoce závislé na místě, kde se nacházejí a jsou ovlivněny různými podmínkami, např. objemovým průtokem, chemií vody a teplotním rozdílem, kterým se důlní voda chladí (režim vytápění) nebo ohřívá (režim chlazení). Například změny teploty mohou vést k tomu, že meze rozpustnosti mohou klesnout nebo být překročeny. Dále má zásadní vliv na tvorbu usazenin průvod kyslíku.

Zjednodušená struktura deskového výměníku tepla, tak jak je většinou používán v geotermální energii důlních vod (Grab 2018), je uvedena na obrázku Obrázek 6-2. Mezerami mezi deskami vždy střídavě protéká teplo emitující tekutina (v případě ohřívání důlní vody) a tekutina absorbující teplo (v případě ohřívání tekutiny v meziobvodu).

der Luft großen Einfluss auf die Bildung von Ablagerungen.

Der vereinfachte Aufbau eines Plattenwärmeübertragers, wie er bei Grubenwassergeothermie meist verwendet wird (Grab 2018), ist in Abbildung 6-2 gezeigt. Die Spalten zwischen den Platten werden immer abwechselnd von dem wärmeabgebenden Fluid (beim Heizfall das Grubenwasser) und wärmeaufnehmenden Fluid (beim Heizfall das Fluid im Zwischenkreislauf) durchströmt.

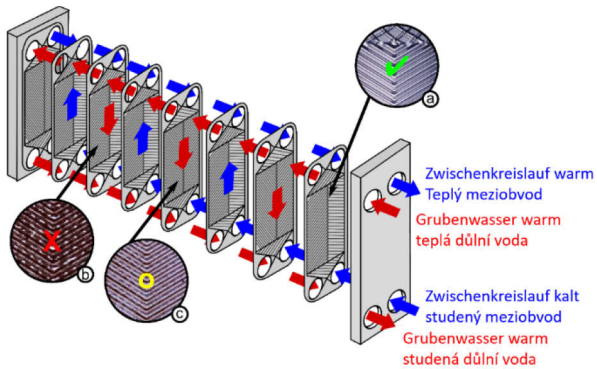


Abbildung 6-2: Schematischer Aufbau und Funktionsprinzips eines Plattenwärmeübertragers beim Heizen sowie Gegenüberstellung einer unbenutzten (a), verschmutzten (b) und gereinigten (c) Wärmeübertragerplatte (nach Wunderlich 2019).

Obrázek 6-2: Schematická struktura a funkční princip deskového výměníku tepla pro vytápění a srovnání nepoužitého (a), znečištěného (b) a vyčištěného (c) desky výměníku tepla (podle Wunderlicha 2019).

Das wärmere Fluid gibt durch die Wärmeübertragerplatte die Wärme an das kühlere Fluid ab. Durch die Hinzunahme von weiteren Platten wird die Übertragungsfläche vergrößert, wo-

Teplejší tekutina přenáší teplo na chladnější tekutinu přes desku tepelného výměníku. Přidáním dalších desek se přenosová oblast zvětší, což znamená, že lze přenášet více tepla. Tyto

durch mehr Wärme übertragen werden kann. Einen Vorteil für die Grubenwassernutzung bieten diese Wärmeübertrager im Wesentlichen dadurch, dass sie vergleichsweise platzsparend unter Tage installiert werden können und sie meist demontierbar sind um die Platten zu reinigen. Wozu die Ablagerungen führen, ist ebenfalls in Abbildung 6-2 zu erkennen. Der Vergleich der neuen, unbenutzten Platte (a) und der verschmutzten Platte (b) zeigt deutliche Unterschiede. Es bildet sich ein Biofilm sowie feste Ablagerungen aus. Diese Verschmutzungen reduzieren die übertragene Wärmemenge und sorgen für einen höheren Druckverlust. Die Dicke der Biofilme kann dabei bis 1000 μm betragen (Nandakumar & Yano 2003). Bereits ein Biofilm von 250 μm reduziert die übertragene Wärmemenge um ca. 50 % (Goodman 1987). Bei einer einzelnen Anlage mittlerer Größe kann das jährliche Verluste von 250.000 € bedeuten.

Wie in Abbildung 6-2 (c) zu erkennen führt auch eine Reinigung der Platten meist nicht dazu, dass der Ursprungszustand wieder erreicht wird. Aus diesem Grund gilt es Maßnahmen zu entwickeln, die das *Fouling* möglichst vermeiden oder zumindest die Reinigung deutlich erleichtern und die Intervalle zwischen notwendigen Reinigungen erheblich vergrößern.

výměníky tepla nabízejí výhodu pro použití důlní vody zejména tak, že mohou být instalovány poměrně prostorově úsporným způsobem v podzemí a obvykle je lze za účelem čištění desek demontovat. K čemu navrstvení vede, ukazuje také Obrázek 6-2. Porovnání nové nepoužité desky (a) a znečištěné desky (b) ukazuje jasné rozdíly. Vytvoří se biofilm a pevné usazeniny. Toto znečištění snižuje množství přenášeného tepla a vede k vyšší tlakové ztrátě. Tloušťka biofilmu může být až 1 000 μm (Nandakumar & Yano 2003). Biofilm o velikosti 250 μm snižuje množství přenášeného tepla již přibližně o 50 % (Goodman 1987). Pro jeden středně velký systém to může znamenat roční ztrátu ve výši 250 000 €.

Jak je vidět v na obrázku Obrázek 6-2 (c), čištění desek obvykle nevede k obnovení jejich původního stavu. Z tohoto důvodu je důležité zavést taková opatření, která co nejvíce zabrání znečištění nebo alespoň výrazně usnadní čištění a výrazně zvýší intervaly mezi nezbytnými čistícími úkony.

6.2. Ziele und Problemstellungen in GeoMAP

Ein wichtiger Teil dieses Projekts ist die Zusammenarbeit der einzelnen Projektpartner und der Aufbau eines Netzwerkes, um die Herausforderungen in den Bergbaufolgelandschaften langfristig erfolgreich zu gestalten. Deshalb wurde durch den Lehrstuhl für technische Thermodynamik eine Fachkonferenz sowie ein Workshop mit Exkursion veranstaltet (Kapitel 8). Zudem wurde ein Zusatzzertifikat „Ingenieur/-in für erneuerbare Energien und Ressourcenmanagement“ für Studierende erarbeitet, dass die Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren im Bereich der erneuerbaren Energien und des Ressourcenmanagements noch stärker sichtbar macht. Studierende die alle notwendigen hohen Anforderungen erfüllen, sollen somit besonders ausgezeichnet werden, bereits während des Studiums Wirtschaftskontakte knüpfen und so einen schnelleren Einstieg in die Wirtschaft erreichen.

Ein weiteres zentrales Ziel war die Entwicklung eines Demonstrationsgerätes für die energetische Grubenwassernutzung. Dieses sollte die wesentlichen Bestandteile einer Anlage, wie sie oben beschrieben wird, beinhalten, also z.B. Wärmeübertrager und

6.2. Cíle a problémy v GeoMAP

Důležitou součástí projektu je spolupráce jednotlivých partnerů projektu a vytvoření sítě za účelem dlouhodobého úspěšného formování výzev v post-těžební krajině. Proto byla katedrou technické termodynamiky uspořádána odborná konference a workshop s exkurzí (kapitola 8). Kromě toho byl pro studenty vyvinut certifikát „Inženýr obnovitelných energií a správy zdrojů“, který ještě více zdůrazňuje školení techniků v oblasti obnovitelných energií a správy zdrojů. Studenti, kteří splňují všechny potřebné vysoké požadavky, by proto měli obdržet zvláštní ocenění, v průběhu studia navázat obchodní kontakty a dosáhnout tak rychlejšího vstupu do podnikání.

Dalším ústředním cílem byl vývoj demonstračního zařízení pro energetické využití důlní vody. To by mělo zahrnovat základní součásti systému, jak je popsáno výše, např. výměník tepla a tepelné čerpadlo. Pomocí tohoto geotermálního systému důlní vody v laboratorním měřítku lze poté na konferencích a jiných akcích přiblížit zúčastněným zdroj regenerativní energie geotermální energie důlních vod. Vzhledem k plné funkčnosti tohoto zařízení je lze také použít k provádění studií ke snížení znečištění. Demonstrační zařízení je

Wärmepumpe. Anhand dieser Grubenwassergeothermieanlage im Labormaßstab kann dann auf Konferenzen und sonstigen Veranstaltungen Interessierten die regenerative Energiequelle Grubenwassergeothermie nähergebracht werden. Da dieses Gerät vollumfänglich funktionsfähig ist, können damit auch Untersuchungen zur Reduktion von *Fouling* durchgeführt werden. Das Demonstrationsgerät ist so kompakt und mobil, dass an realen Bergwerksstandorten Versuche mit unterschiedlichen Wärmeübertragerkonfigurationen durchgeführt werden können. Die Idee ist dabei unterschiedliche Materialien und Beschichtungen für die Wärmeübertragerplatten zu testen, die eine *Anti-Fouling*-Wirkung haben könnten. Da Grubenwasser stark standortabhängig ist und nicht im Labor hergestellt werden kann, sind zwangsläufig Vor-Ort-Untersuchungen im Bergwerk notwendig.

6.3. Ergebnisse

Um die oben beschriebenen Ziele bei der Konstruktion des Demonstrationsobjektes zu erreichen, bestanden die folgenden Anforderungen:

- Kompaktheit, Mobilität und Robustheit für den Einsatz im Bergwerk
- Untersuchung von Heiz- und Kühlanwendung

kompaktní a mobilní, takže experimenty s různými konfiguracemi výměníku tepla lze provádět na skutečných těžebních místech. Cílem je otestovat různé materiály a povlaky desek výměníku tepla, které by mohly fungovat proti zanášení. Jelikož je důlní voda vysoce závislá na místě vzniku a nelze ji vyrábět v laboratoři, je nevyhnutelně nutné provádět experimenty a důlní výzkumy na místě.

6.3. Výsledky

Aby bylo možné dosáhnout výše popsaných cílů při konstrukci demonstračního objektu, existovaly následující požadavky:

- Kompaktnost, mobilita a robustnost pro použití v dole
- Výzkum aplikací pro vytápění a chlazení

- Leichte Demontage der Wärmeübertrager, um Ablagerungen zu untersuchen
- Snadná demontáž výměníku tepla pro kontrolu usazenin

Das Ergebnis ist der in Abbildung 6-3 dargestellte Wärmepumpenversuchsstand. Die notwendige Kompaktheit wurde mit den Abmaßen 0,75 x 1 x 1,45 m erreicht. Eine Besonderheit der Demonstrationsanlage ist, dass gleichzeitig der Heiz- und Kühlbetrieb untersucht werden kann. Dafür wird der Grubenwasserstrom \dot{V}_{GW} aufgeteilt: ein Teil (\dot{V}_H) wird zum Heizen verwendet, der andere Teil zum Kühlen (\dot{V}_K) (siehe Fließschema in Abbildung 6-4). \dot{V}_H wird im Wärmeübertrager Wärme entzogen, um diese zum Heizen zu verwenden. Das Fluid im Zwischenkreislauf „Heizen“ wird anschließend in der Wärmepumpe, wie bei realen Anlagen, auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Diese Heizwärme kann in der Demonstrationsanlage nicht wie bei einem Wohnhaus zum Heizen der Räume verwendet werden.

Výsledkem je testovací stanice tepelného čerpadla uvedená na obrázku 6-3. Potřebné kompaktnosti bylo dosaženo s rozměry 0,75 x 1 x 1,45 m. Zvláštností demonstračního systému je, že lze současně kontrolovat provoz vytápění i chlazení. Za tímto účelem je tok důlní vody \dot{V}_{GW} rozdělen: jeden díl (\dot{V}_H) se používá k vytápění, druhý díl k chlazení (\dot{V}_K) viz vývojový diagram (Obrázek 6-4). \dot{V}_H teplo se odebírá ve výměníku tepla, aby se využilo k vytápění. Tekutina v „topném“ meziovodu je poté v tepelném čerpadle přivedena na vyšší teplotní úroveň, jako ve skutečných systémech. Toto topení nelze v demonstračním systému použít k vytápění místností jako v obytném domě.

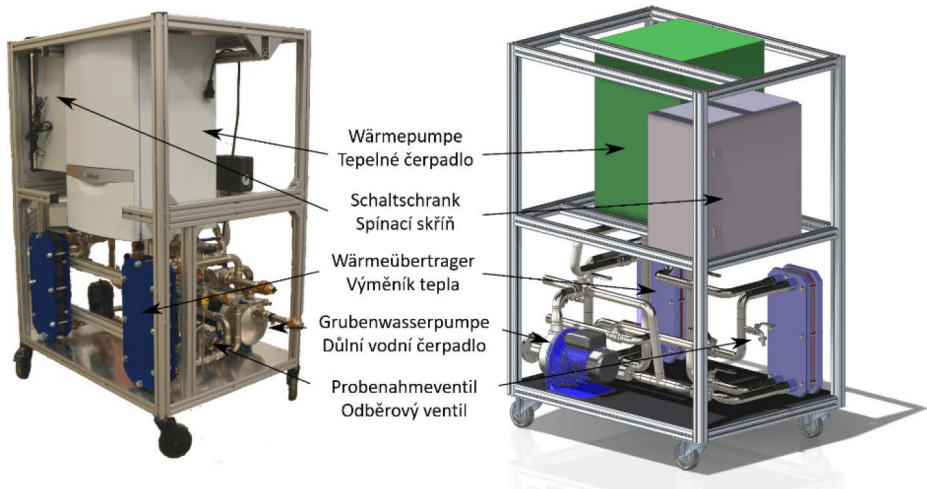


Abbildung 6-3: Demonstrationsobjekt "Energetische Grubenwassernutzung", Foto (links) und 3-D-Modell (rechts). Foto: TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik.

Obrázek 6-3: Demonstrační objekt "Energetické využití důlní vody", fotografie (vlevo) a 3-D-model (vpravo). Foto: TU Báňská akademie Freiberg, profesura technické termodynamiky.

Deshalb wird die Wärme nun über den Wärmeübertrager „Kühlen“ an den Grubenwasserstrom \dot{V}_K abgegeben. Dies ermöglicht gleichzeitig die Untersuchung der Betriebsweise Kühlen. Der dann erwärmte Grubenwasserstrom \dot{V}_K wird am Schluss mit dem durch das Heizen abgekühlten \dot{V}_H vermischt und wieder an die Umgebung abgeführt.

Proto se nyní teplo přenáší do proudu důlní vody \dot{V}_K prostřednictvím „chladicího“ výměníku tepla. To umožňuje zároveň zkoumat provoz chlazení. Poté je ohřátý proud důlní vody \dot{V}_K nakonec smíchán s proudem ochlazeným ohřevem \dot{V}_H a znovu vypouštěn do okolí.

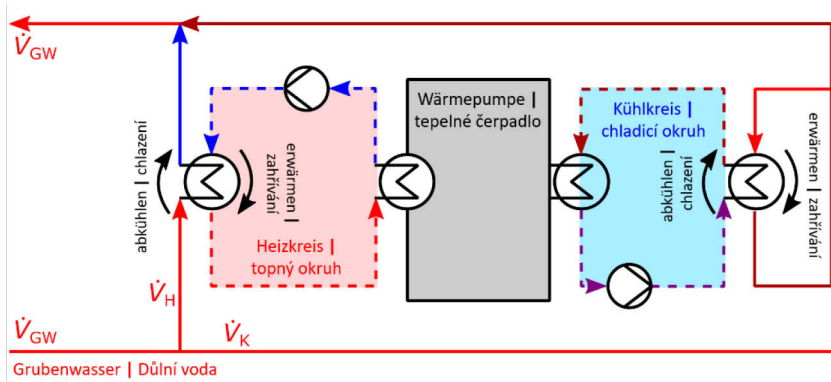


Abbildung 6-4: Fließschema des Demonstrationsobjektes "Energetische Grubenwassernutzung".

Obrázek 6-4: Vývojový diagram demonstračního objektu „Energetické využití důlní vody“.

Durch dieses gleichzeitige Heizen und Kühlen können nicht nur beide Betriebszustände untersucht werden, sondern das Grubenwasser erreicht nach der Demonstrationsanlage wieder nahezu die Ausgangstemperatur.

Für die Auswahl des Standortes für eine erste Demonstration und Untersuchungen zum *Fouling* wurde auf die Ergebnisse aus dem Projekt VODAMIN II zurückgegriffen. Bei der Pumpstation MR1 in der nordböhmisches Gemeinde Mariánské Radčice besteht ein sehr großes energetisches Potenzial. Dort muss dauerhaft ein Volumenstrom von etwa 100 m³/h mit einem Temperaturniveau von 25 bis 29 °C abgepumpt werden. Eine energetische Nutzung, bei der das Grubenwasser auf 17 °C abgekühlt wird, würde eine theoretische Heizleistung

Díky tomuto současnému procesu ohřevu a chlazení lze nejenom zkoumat oba provozní stavy, navíc důlní voda po demonstračním procesu dosáhne opět téměř své výchozí teploty.

Výsledky projektu VODAMIN II byly použity k výběru místa pro počáteční demonstraci a průzkum znečištění. Čerpací stanice MR1 v severočeské obci Mariánské Radčice má velmi velký energetický potenciál. Je zde trvale odčerpávána důlní voda o objemovém průtoku kolem 100 m³ / h při teplotě 25 až 29 ° C. Energetické využití, při kterém je důlní voda ochlazena na 17 ° C, by znamenalo teoretický topný výkon 1,3 MW a roční množství tepla 11,1 GWh. S tímto množstvím tepla lze např. ohřát plochu skleníku s rajčaty o rozloze 31 ha (Oppelt et al. 2020b). U

von 1,3 MW und eine jährliche Heizwärmemenge von 11,1 GWh bedeuten. Mit dieser Heizwärmemenge könnte z.B. eine Gewächshausfläche mit Tomaten von 31 ha beheizt werden (Oppelt et al. 2020b). An dieser Pumpstation ist auch ein Anschluss der Demonstrationsanlage über Tage realisierbar, was die Durchführung erleichtert. Aus dem verfügbaren Volumenstrom an der Pumpstation (100 m³/h) werden für das Demonstrationsobjekt rund 25 l/min entnommen und anschließend wieder zugeführt. Die dabei anliegenden Wasserparameter sind in Abbildung 6-5 gezeigt. Wie bereits erwähnt, liegt die Grubenwassertemperatur stets über 25 °C, der pH-Wert liegt im neutralen Bereich. Zudem ist eine vergleichsweise hohe Konzentration von Eisen zu erkennen.

této čerpací stanice lze demonstrační systém připojit i na povrch, což usnadňuje implementaci. Z dostupného objemového průtoku v čerpací stanici (100 m³ / h) bylo pro demonstrační zařízení odebráno a poté přivedeno napět asi 25 l / min. Příslušné parametry vody jsou zobrazeny na obrázku Obrázek 6-5. Jak již bylo zmíněno, teplota důlní vody je vždy nad 25 ° C, hodnota pH je v neutrálním rozmezí. Kromě toho lze pozorovat poměrně vysokou koncentraci železa.

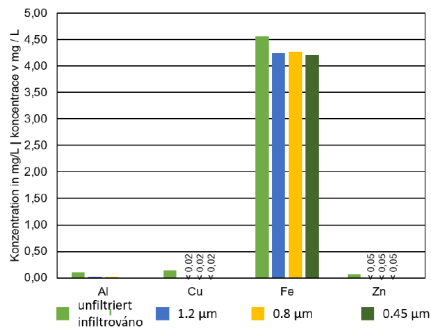
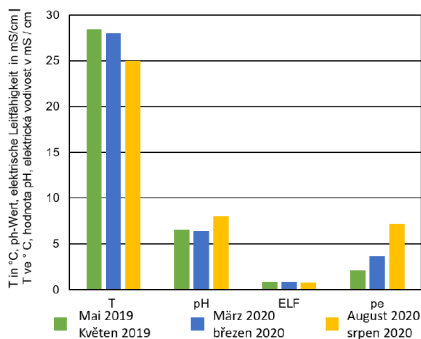


Abbildung 6-5: Parameter des Grubenwassers am Standort des Demonstrationsobjektes (Pumpstation MR 1).

Obrázek 6-5: Parametry důlní vody v místě demonstračního objektu (čerpací stanice MR 1).

Die erste Versuchsreihe wurde von Juli bis August 2020 durchgeführt. Aufgrund der Covid-19-Pandemie und der damit verbundenen Reisebeschränkungen waren weitere Versuche an diesem Standort nicht umsetzbar.

Ebenfalls aufbauend auf den Untersuchungen zu *Fouling*-relevanten Oberflächeneigenschaften im Projekt VODAMIN II, wurden 8 verschiedene Plattenmaterialien und Beschichtungen getestet. Folgende Werkstoffe – aufgelistet nach Legierungsbezeichnung – wurden dafür ausgewählt:

- X5CrNiMo17-12-2
- NiMo16Cr15W
- NiCr23Mo16Cu
- X5CrNi18-10
- JIS H4600 TR270C (Titan)
- X1NiCrMoCu25-20-5
- X1CrNiMoCuN20-18-7
- X5CrNiMo17-12-2 (mit Nano-Ag-Beschichtung)

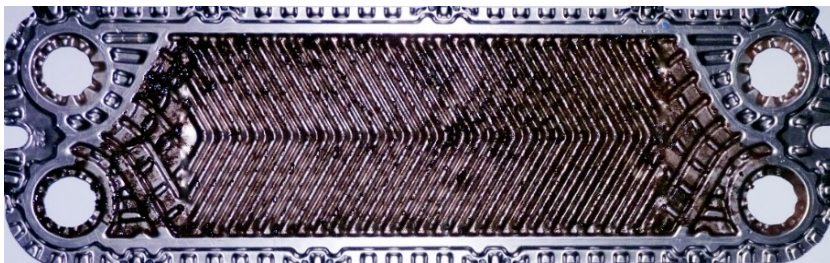
Beispielhaft für die Ergebnisse sind in Abbildung 6-6 die Platten von drei verschiedenen Materialien, bzw. Beschichtungen nach dem Ausbau aus dem Versuchsstand gezeigt.

První série testů byla provedena od července do srpna roku 2020. Vzhledem k pandemii Covid-19 a souvisejícím omezením cestování nebyly další pokusy na tomto místě proveditelné.

Taktéž bylo na základě výzkumů povrchových vlastností relevantních pro znečištění v projektu VODAMIN II testováno 8 různých materiálů desek a pokryvných vrstev. K tomu byly vybrány následující materiály – uvedené podle označení slitiny:

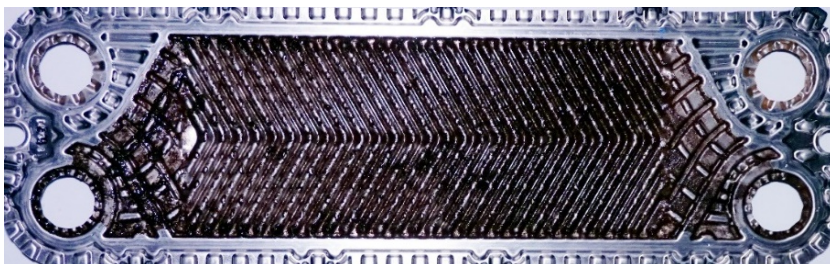
- X5CrNiMo17-12-2
- NiMo16Cr15W
- NiCr23Mo16Cu
- X5CrNi18-10
- JIS H4600 TR270C (Titan)
- X1NiCrMoCu25-20-5
- X1CrNiMoCuN20-18-7
- X5CrNiMo17-12-2 (s Nano-Ag-vrstvou)

Jako příklad výsledků jsou na obrázku Obrázek 6-6 zobrazeny desky ze tří různých materiálů nebo pokryvných vrstev po vyjmutí ze zkušebního zařízení.



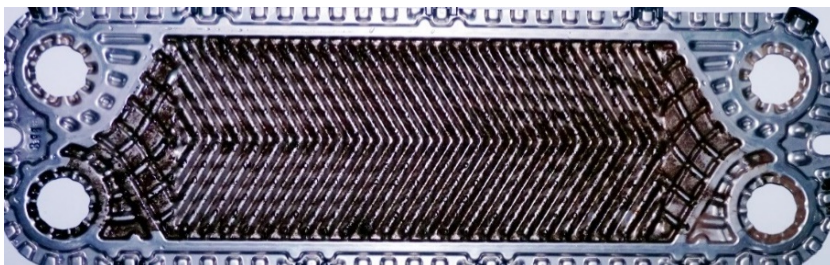
JIS H4600 TR270C (Titan)

3cm



X1NiCrMoCu25-20-5

3cm



X5CrNiMo17-12-2 (Na-no-Ag-Beschichtung | vrstva)

3cm

Abbildung 6-6: Gegenüberstellung der Ablagerungen auf drei Materialien/Beschichtungen nach dem ersten Versuch an der Pumpstation MR1. Foto: TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik.

Obrázek 6-6: Porovnání usazenin na třech druzích materiálu / vrstev po prvním pokusu na čerpací stanici MR1. Foto: TU Bányáská akademie Freiberg, profesura technické termodynamiky

Anhand der Fotos aus Abbildung 6-6 wird deutlich, dass kein klarer Unterschied zwischen den einzelnen Materialien zu erkennen ist. Aus diesem Grund wurde eine Verschmutzungsgrad-Kennzahl entwickelt, diese setzt die verschmutzte Fläche zur Gesamtfläche ins Verhältnis. Die Ergebnisse für den Wärmeübertrager zur Kühlanwendung von Grubenwasser sind in Abbildung 6-7 dargestellt. Dort sind ebenfalls beispielhaft die Bilder zum Verschmutzungsgrad für drei Materialien, bzw. Beschichtungen zugeordnet. Der rote Bereich stellt dabei den Teil der Wärmeübertragerplatte, der nicht verschmutzt ist dar. Die niedrigsten Verschmutzungsgrade wurden beim Kühlen für die Materialien NiMo16Cr15W, NiCr23Mo16Cu und die Silber-Nano-Beschichtung erreicht. Ein Vergleich der Analysebilder der Platten in Abbildung 6-7 zeigt allerdings, dass sich bei der Silber-Nano-Beschichtung über die ganze Platte weniger Ablagerungen bilden. Bei NiMo16Cr15W resultiert der niedrige Verschmutzungsgrad im Wesentlichen aus der geringen Menge an Ablagerungen auf einer Seite der Wärmeübertragerplatte (a). In zukünftigen Untersuchungen gilt es diesen Umstand zu überprüfen.

Fotografie z obrázku 6-6 jasně ukazují, že mezi jednotlivými materiály není rozeznatelný jasný rozdíl. Z tohoto důvodu byl vyvinut stupeň indexu znečištění, který udává znečištěnou plochu ve vztahu k celkové ploše. Výsledky pro výměník tepla určený k chlazení důlní vody jsou uvedeny na obrázku Obrázek 6-7. Pro příklad jsou zde přiřazeny obrázky ke stupni znečištění pro tři druhy materiálů nebo vrstev. Červená oblast představuje část desky tepelného výměníku, která není znečištěna. Nejnižší úroveň znečištění bylo dosaženo během chlazení u materiálů NiMo16Cr15W, NiCr23Mo16Cu a stříbrného nano povlaku. Porovnání analytických obrazů desek viz Obrázek 6-7 však ukazuje, že se na celé desce se stříbrnou nano vrstvou tvoří méně usazenin. V případě NiMo16Cr15W vyplývá nízký stupeň znečištění v zásadě z malého množství usazenin na jedné straně desky výměníku tepla (a). Tuto skutečnost je třeba ověřit v budoucích šetřeních.

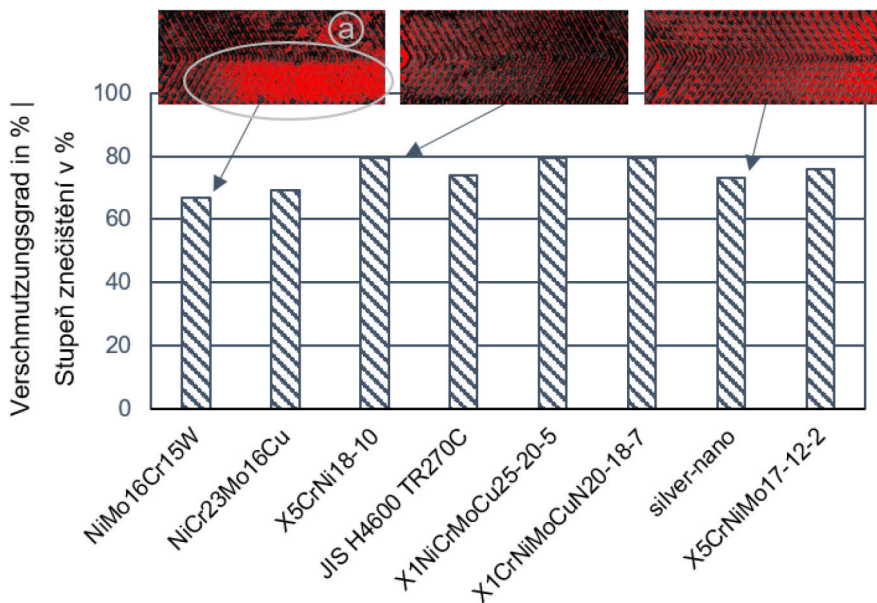


Abbildung 6-7: Verschmutzungsgrad der unterschiedlichen Materialien und Beschichtungen des Wärmeübertragers für den Betriebsmodus Kühlen nach dem ersten Versuch an MR1. Foto: TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik.

Obrázek 6-7: Stupeň znečištění různých materiálů a vrstev výměníku tepla pro provozní režim chlazení po prvním pokusu na MR1. Fotos: TU Bářská akademie Freiberg, profesura technické termodynamiky.

Abbildung 6-8 zeigt die Ergebnisse des ersten Versuches für den Betriebsmodus Heizen. Der durchschnittliche Verschmutzungsgrad für alle Platten liegt beim Heizen mit etwa 68 % unter dem des Kühlens mit knapp 75 %. Das bedeutet bei diesem ersten Versuch an der Pumpstation MR1 kam es bei der Kühlanwendung zu einer stärkeren Verschmutzung.

Obrázek 6-8 ukazuje výsledky prvního pokusu o provozní režim vytápění. Průměrný stupeň znečištění všech desek je u ohřevu s přibližně 68% nižší než u chlazení s téměř 75%. To znamená, že během tohoto prvního pokusu na čerpací stanici MR1 vedla aplikace chlazení k větší kontaminaci.

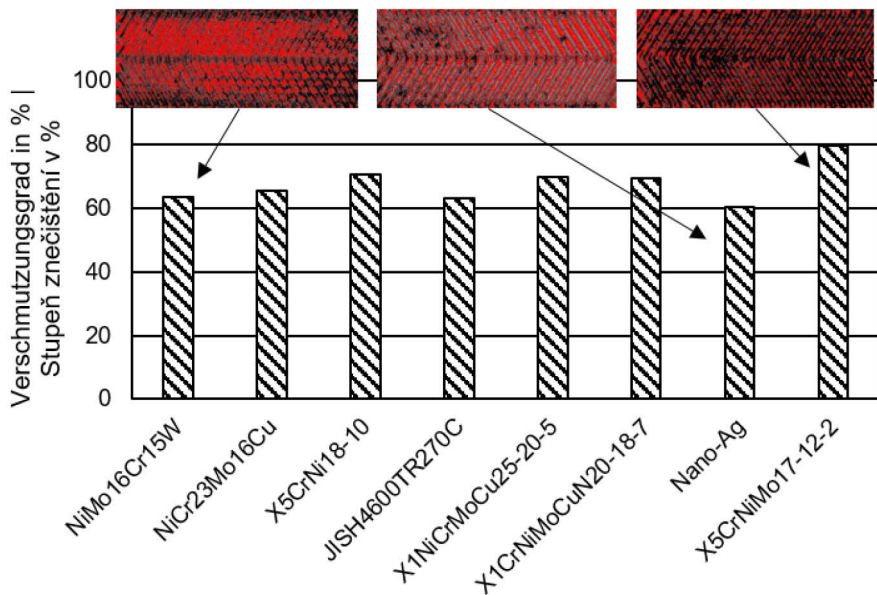


Abbildung 6-8: Verschmutzungsgrad der unterschiedlichen Materialien und Beschichtungen des Wärmeübertragers für den Betriebsmodus Heizen nach dem ersten Versuch an MR1. Foto: TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik.

Obrazek 6-8: Stupeň znečištění různých materiálů a vrstev výměníku tepla pro provozní režim vytápění po prvním pokusu na MR1. Foto: TU Banská akademie Freiberg, profesura technické termodynamiky

Auch beim Heizbetrieb liefern die Silber-Nanobeschichtung, NiMo16Cr15W und NiCr23Mo16Cu die niedrigsten Verschmutzungsgrade. Die Ergebnisse gilt es bei zukünftigen Untersuchungen an weiteren Standorten und auch mit weiteren Materialien sowie Beschichtungen zu bestätigen. Denn nur indem standortkonkrete Lösungen für eine effektive Wärmeübertragung entwickelt werden, lassen sich die energetischen Potenziale, die

Stříbrný nano povlak NiMo16Cr15W a NiCr23Mo16Cu zajišťuje také nejnižší úroveň znečištění během vytápění. Výsledky musí být potvrzeny při budoucích zkouškách na jiných místech a také u jiných materiálů a vrstev, protože pouze vývojem specifických řešení pro efektivní přenos tepla lze optimálně využít energetický potenciál, jenž je k dispozici v Sasku i v severních Čechách. Například v důlním

sowohl in Sachsen als auch Nordböhmen vorherrschen, optimal nutzen. Beispielsweise besteht am Rothschönberger Stolln in Freiberg theoretisch die Möglichkeit jährlich eine Energiemenge von 76,2 GWh nur aus diesem Stollen zu nutzen (bei Abkühlung des Grubenwassers um 5 K). Damit könnten unter aktuellen Baustandards bis zu 10.000 Häuser beheizt werden. Auch in Nordböhmen bestehen sehr große Potenziale, da die Grubenwassertemperaturen dort meist über 25 °C liegen (in Sachsen oft im Bereich 12-20 °C). Neben Grubenwassertemperatur und nutzbarem Volumenstrom sind weitere Größen für die Potenzialbestimmung relevant: z.B. die Höhendifferenz die zur Erschließung des Grubenwassers überwunden werden muss (Teufe) und die Wassercharakteristik. Dazu wurde im Rahmen des Projektes VODAMIN II eine Punkteskala mit fünf Faktoren entwickelt: Temperatur, Volumenstrom, Teufe, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit. Die beste Bewertung erreichten dabei diese Standorte (Oppelt 2020b):

- Rothschönberger Stolln, Freiberg Revier
- Tiefer-St.-Christoph Stolln, Annaberg
- Glückauf-Stolln, Johanngeorgenstadt
- Weißtaubner Stolln, Marienberg

díle Rothschönberger Stolln ve Freibergu existuje teoreticky možnost využít roční množství energie 76,2 GWh jen z této štoly (při ochlazení důlní vody o 5 K). Takto by podle současných stavebních standardů mohlo být vytápěno až 10 000 domů. Velký potenciál existuje také v severních Čechách, protože teploty důlní vody zde mají hodnoty většinou nad 25 °C (v Sasku se často pohybují v rozmezí 12-20 °C). Kromě teploty důlní vody a použitelného objemového průtoku jsou pro stanovení potenciálu relevantní také další proměnné: např. výškový rozdíl, který je třeba překonat, mezi místem čerpání v dole a povrchem nebo vlastnosti vody. Za tímto účelem byla v rámci projektu VODAMIN II vyvinuta bodová stupnice s pěti faktory: Teplota, objemový průtok, hloubka, hodnota pH a elektrická vodivost. Nejlepšího hodnocení dosáhla tato místa (Oppelt 2020b):

- Štola Rothschönberger Stolln, důlní revír Freiberg
- Štola Tiefer-St.-Christoph Stolln, Annaberg
- Štola Glückauf-Stolln, Johanngeorgenstadt
- Štola Weißtaubner Stolln, Marienberg
- Čerpací stanice MR1, Mariánské Radčice

- Pumpstation MR1, Mariánské Radčice

Für eine genauere Betrachtung der Potenziale wird auf die Ergebnisse des Projektes VODAMIN II verwiesen. Aufbauend auf der Potenzialbestimmung wurden dabei auch Flächennutzungskonzepte z.B. für Freiberg oder Mariánské Radčice erarbeitet.

Um die Potenziale optimal nutzen zu können und Problemstellungen des Strukturwandels zu lösen, ist auch eine intensive Netzwerkarbeit und ein Austausch von Erfahrungen zwischen deutscher und tschechischer Seite notwendig. Im Rahmen des Projektes GeoMAP wurden deshalb durch den Lehrstuhl für technische Thermodynamik eine Fachkonferenz und ein Workshop veranstaltet, wo verschiedene Fragestellungen zur energetischen Grubenwassernutzung diskutiert wurden (Kapitel 8).

Zusätzlich wurde das Zusatzzertifikat „Ingenieur/-in für Erneuerbare Energien und Ressourcenmanagement“ erarbeitet. Dieses soll zukünftig Studierenden, die alle hohen Anforderungen dafür erfüllen, auszeichnen und einen schnellen Einstieg in die Wirtschaft ermöglichen (Kapitel 9).

Bližší pohled na tepelný potenciál je ve výsledcích projektu VODAMIN II. Na základě stanovení potenciálu byly rovněž vypracovány koncepce využití pudy, např. pro Freiberg nebo Mariánské Radčice.

Aby bylo možné optimálně využít potenciál a řešit problémy strukturálních změn, je nutné intenzivní vytváření sítí a výměna zkušeností mezi německou a českou stranou. V rámci projektu GeoMAP byla proto katedrou technické termodynamiky uspořádána odborná konference a seminář, na kterém byly diskutovány různé otázky týkající se energetického využití důlní vody (kapitola 8).

Kromě toho byl vytvořen další certifikát „Inženýr pro obnovitelné energie a správu zdrojů“. V budoucnu tak budou oceněni studenti, kteří splňují všechny vysoké požadavky, a bude jim umožněn rychlý vstup do podnikání (kapitola 9).

6.4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung des Demonstrationsgerätes ermöglichte es, auf Veranstaltungen wie der 2. GeoMAP-Fachkonferenz oder der „Nacht der Wissenschaft“ in Freiberg Interessierten die Möglichkeit der energetischen Grubenwassernutzung näher zu bringen. Um die umfangreichen Potenziale in Sachsen und Nordböhmen zukünftig auch zu nutzen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Energieversorgung zu leisten, ist eine Unterstützung von Kommunen, Behörden und sonstigen Entscheidungsträgern unerlässlich. Durch den Einsatz des Demonstrationsgerätes kann dabei die Funktionsfähigkeit an unterschiedlichen Standorten gezeigt werden und zudem die Wärmeübertragerkonfiguration unmittelbar unter realen Bedingungen erprobt werden. Um allgemeingültige Aussagen und Lösungen zu entwickeln, ist die Entwicklung einer Versuchsstand-Kleinserie aufbauend auf dem Demonstrationsobjekt im Projekt GeoMAP erforderlich. Damit könnten dann an unterschiedlichen Standorten Versuche durchgeführt werden, die jeweils auf die individuelle Charakteristik des Grubenwassers abgestimmt sind. Zusätzlich müssen die Potenziale ortskonkret bestimmt werden, dabei muss nicht nur geklärt werden, wel-

6.4. Shrnutí a výhled

Vývoj demonstračního zařízení umožnil zájemcům přiblížit možnost energetického využití důlní vody na akcích, jako je 2. odborná konference GeoMAP nebo „Night of Science“ ve Freibergu. Aby bylo možné v budoucnu využít rozsáhlý potenciál v Sasku a severních Čechách a významně tak přispět k dekarbonizaci dodávek energie, je nezbytná podpora ze strany obcí, úřadů a dalších osob s rozhodovací pravomocí. Pomocí demonstračního zařízení lze představit jeho funkčnost na různých místech a lze také testovat konfiguraci výměníku tepla přímo za reálných podmínek. Pro rozvinutí obecně platných prohlášení a řešení je nutný vývoj malé série testovacích stanic založených na demonstračním zařízení v projektu GeoMAP. To znamená, že testy bude poté možné provádět na různých místech, přičemž každé z míst bude přizpůsobeno individuálním charakteristikám důlní vody. Kromě toho musí být potenciál určen konkrétně k danému místu, musí být objasněna nejen skutečnost, jaký teoretický potenciál je k dispozici pro vytápění a chlazení, ale také jaké energetické požadavky existují na povrchu. Kromě toho je zapotřebí vyvinout koncepty, jak bude možné využívat teplo v místech bez osídlení, např. pro skleníky.

ches theoretische Potenzial zum Heizen und Kühlen zur Verfügung steht, sondern auch welcher Energiebedarf übertage vorliegt. Zusätzlich sind Konzepte zu erarbeiten, wie die Wärme an Standorten ohne Besiedlung genutzt werden kann, z.B. für Gewächshäuser.

Durch die intensive Netzwerkarbeit im Projekt GeoMAP konnte eine Vielzahl neuer Kontakte und Partner gewonnen, sowie ein Zusatzzertifikat für Studierende erarbeitet werden. Dadurch werden Erfahrungen und Kompetenzen zur Gestaltung des Strukturwandels gebündelt und es kann auch zukünftig ein wesentlicher Beitrag zur Nachnutzung von stillgelegter Bergbauinfrastruktur geleistet werden.

Intensivní vytváření sítí v projektu GeoMAP umožnilo získat velké množství nových kontaktů a partnerů a vytvořit další certifikát pro studenty. Tímto způsobem jsou spojeny zkušenosti a kompetence pro formování strukturálních změn a v budoucnu lze také významně přispět k opětovnému použití vyřazené těžební infrastruktury.

Quellenverzeichnis / Použitá literatura

Goodman, P. D. (1987): Effect of chlorination on material for seawater cooling system: a review of chemical reactions. Bra. Corr. J. 22, 56-62.

Grab, T., Storch, T., Groß, U. (2018): *Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken*, Erschienen in: Bauer, M., Freeden, W., Jacobi, H., Neu, T. (Hrsg.): Handbuch Oberflächennahe Geothermie, Kapitel 17, Springer Spektrum, 2018, ISBN: 978-3-662-50306-5, DOI: [10.1007/978-3-662-50307-2_17](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50307-2_17).

Nandakumar, K. & Yano, T. (2003). Biofouling and Its Prevention: A Comprehensive Overview. Biocorrosion Science. 8. 133-144. [10.4265/bio.8.133](https://doi.org/10.4265/bio.8.133).

Oppelt, L.; Pose, S.; Grab, T. & Fieback, T. (2020a): Geothermische Nutzung von Grubenwasser zur regenerativen Energieversorgung, Geothermische Energie, Nr. 95, Jg. 29, S. 24-27, Mai 2020.

Oppelt, L.; Kaplin, K.; Grimmer, M.; Grab, T.; Hoth, N. & Fieback, T. (2020b): Grubenwassergeothermie als regenerative Energiequelle - Status quo, Risiken und Potenziale, Abschlussworkshop VODAMIN II, 15.10.2020, Freiberg.

Oppelt, L.; Grab, T.; Pose, S.; Storch, T. & Fieback, T. (2021): Mine water geothermal energy as a regenerative energy source - status quo and results from five years of monitoring. Oil Gas EUROPEAN MAGAZINE 47:15–19. <https://doi.org/10.19225/2103054>.

Wunderlich R. (2019) O1 Konstruktive Hinweise für den Bau von Wärmeübertragern. In: Stephan P., Kabelac S., Kind M., Mewes D., Schaber K., Wetzel T. (eds) VDI-Wärmeatlas. Springer Reference Technik (VDI Springer Reference). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-52989-8_114.

7. Herausforderungen und Potentiale der Bergbaulandschaft im Moster Braunkohlenbecken

7. Výzvy a příležitosti v post hornické krajině Mostecké uhelné pánve

Autoren | Autoři: Mališ, J. ¹, Klempa, M. ¹, Šancer, J. ¹

¹ Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

7.1. Einleitung

Jede Bergbautätigkeit stellt einen intensiven Eingriff in die Umwelt dar und spiegelt sich langfristig unter anderem in der Qualität des Oberflächenwassers und, je nach geomorphologischer und tektonischer Situation, auch in der Zusammensetzung des Tiefenwassers wider.

In den neunziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden in der Tschechischen Republik mehrere Bergwerke geschlossen. Einige wurden geflutet und über die Zeit stieg im Grubenwasser stark die Konzentrationen löslicher, die Umwelt belastender Stoffe an.

Zu Beginn der Flutung wurde davon ausgegangen, dass die Konzentration dieser Verbindungen auf einem gleichen Niveau bleibt. Einige Monate nach dem Flutungsbeginn stiegen jedoch die Konzentrationen dieser Stoffe in allen überwachten Lokalitäten stark an. Untersuchungen ergaben, dass in den ungefluteten Gängen

7.1. Úvod

Hornická činnost představuje bezesporu obrovský zásah do životního prostředí, který se z dlouhodobého hlediska odráží zejména na kvalitě povrchových vod a podle geomorfologické a tektonické situace ložiska, i na složení vod hlubšího oběhu.

V devadesátých letech 20. století byla v České republice uzavřena řada dolů. Některé z nich byly zatopeny, a za čas v důlních vodách prudce vzrostly koncentrace rozpustných látek, které pro přírodu představují zátěž.

Historicky bylo předpokládáno, že koncentrace těchto sloučenin zůstanou po zatopení dolu na stejné úrovni. Několik měsíců po zatopení však koncentrace sledovaných látek prudce vzrostly téměř na všech monitorovaných lokalitách. Výzkumem bylo zjištěno, že dokud nejsou chodby a šachty zatopeny, je horninové prostředí dotováno atmosférickým kyslíkem a minerály oxidují. Produkty oxidace z velké části zůstávají na místě

und Schächten das umgebende und freiliegende Gestein durch atmosphärischen Sauerstoff dotiert ist und die Minerale oxidierten. Die Oxidationsprodukte (z.B. in Form von Eisen- oder Mangan-Hydroxid) verblieben zum größten Teil am Ort. Nach dem Fluten der Bergwerke gelangten die oxidierten Stoffe erneut in die Reduktionszone und die vormaligen Oxidationsprodukte begannen sich rasch aufzulösen. So gelangen Sulfate, Chloride und andere Salze in das Wasser. Auffällig ist besonders der hohe Gehalt an Eisen, Mangan und oft auch Schwermetallen.

Die gesamte Mineralisierung, der Inhalt der einzelnen Bestandteile und deren Form, der Säuregehalt (pH) und das Redoxpotential (Eh) des Wassers werden im Laufe der Zeit durch den dynamisch-stationären Zustand der Interaktionen im komplizierten System beeinflusst. Dieses besteht aus den eigentlichen Gesteinen der Lagerstätte, deren Sediment- und Boden-deckschicht, der Halde, den atmosphärischen Niederschlägen, dem Grundwasser und der Atmosphäre (Sauerstoff).

Die in einer nicht durch den Bergbau beeinflussten Landschaft verlaufenden Prozesse können wir uns wie folgt vorstellen: Durch Interaktionen zwischen dem Gesteinswasser (Wasser enthalten an den Grenzen zwischen

(např. v podobě hydroxidů železa a manganu). Po zatopení dolu se oxidované partie dostanou opět do redukční zóny a produkty někdejší oxidace se začnou rychle rozpouštět. Tak se do vod dostává množství síranů, chloridů a jiných solí. Nápadné jsou zejména vysoké obsahy železa, manganu a často také těžkých kovů.

Celková mineralizace, obsah jednotlivých složek a jejich forma, kyselost (pH) a oxidačně-redukční potenciál (Eh) vod jsou v průběhu doby určovány ustanovením dynamického stacionárního stavu interakcí ve složitém systému, který tvoří vlastní horniny ložiska, jejich sedimentární a půdní pokryvy, haldy, odvaly, atmosférické srážky, podzemní vody a atmosféra (kyslík).

Procesy probíhající v krajině neovlivněné těžbou je možné představit si následovně. Interakcemi mezi horninovou vodou (voda obsažená na hranicích mezi minerálními zrny a v tektonicky porušených zónách) a vlastní horninou se zrudněním (např. pyritem) dochází k nasycení vod vůči jednotlivým složkám. Vzhledem k panujícím redukčním podmínkám a neutrálního až mírně alkalického pH (nasycení vůči karbonátům – pH ~ 8,3) je mineralizace těchto vod velmi nízká a nemá obvykle výraznější vliv na zhoršení kvality podzemních vod. Ke zvětrávání (rozpuštění a oxidaci)

den Mineralkörnern und in tektonisch gestörten Zonen) und dem eigentlichen Gestein mit Vererzung (z.B. Pyrit) kommt es zur Sättigung des Wassers gegenüber den einzelnen Bestandteilen. Angesichts der vorherrschenden Reduktionsbedingungen und des neutralen bis leicht basischen pH-Wertes (Carbonatsättigung - pH ~ 8,3) ist die Mineralisierung dieses Wassers sehr niedrig und hat gewöhnlich keinen markant negativen Einfluss auf die Grundwasserqualität. Zur Verwitterung (Auflösung und Oxidation) kommt es nur in einem schmalen Bereich an der Oberfläche, weiterhin tritt durch eine ungünstige Mineralisierung (Sulfide) eine sehr begrenzte, lokale Beeinflussung des Oberflächenwassers auf, die jedoch durch „selbstreinigende“ Reaktionen eliminiert wird.

Das Eröffnen eines Bergwerks wird von einem leichteren Zutritt von Sauerstoff in größere Tiefen begleitet. Gleichzeitig kommt es zu Änderungen der Oxidations-Reduktions-Bedingungen und des hydrogeologischen Regimes.

Diese Änderungen führen zu einer starken Beschleunigung der Interaktion und zu einer hohen Mineralisierung des Porenwassers. Durch die Gravitation angetrieben fließt das Porenwasser an den Wänden des Bergwerks bis zum niedrigsten Niveau des

dochází pouze v úzkém přípovrchovém horizontu a i v případě nepříznivé mineralizace (sulfidy) dochází k velmi omezenému lokálnímu ovlivnění povrchových vod, které je eliminováno „samočisticími“ reakcemi.

Otevření dolu je provázáno snadným přístupem kyslíku do větších hloubek. Zároveň dochází ke změnám oxidačně-redukčních podmínek a hydrologického režimu vod.

Tyto změny vedou k výraznému urychlení interakcí a prudkému zvýšení mineralizace pórových vod. Pórové vody stékají vlivem gravitace po stěnách dolu na úroveň nejnižšího patra, v jehož oblasti bývá lokalizována okamžitá hladina podzemních vod. Během tohoto procesu se zvyšuje jejich pH v důsledku interakcí pórových vod s horninotvornými a hlušinovými minerály (zejména karbonáty, ale také silikáty) a klesá oxidačně-redukční potenciál. To vede ke snížení obsahu minerálních složek vod, které se srážejí v podobě druhotných minerálů. Pórové vody, které takto ztratily většinu své mineralizace, jsou pak v podobě důlních vod čerpány a upravovány na požadované parametry.

Na složení důlních vod se tedy podílí vody pórové a tzv. Vody oplachové. Vody oplachové jsou tvořeny převážně srážkami (mají ředící účinek) a postupují po tektonických

Bergwerks, in dessen Bereich in der Regel das momentane Grundwasserniveau lokalisiert wird. Während dieses Prozesses erhöht sich der pH-Wert infolge der Interaktion des Porenwassers mit den gesteinsbildenden und den erzleeren Mineralen (insbesondere Carbonate aber auch Silikate), das Redoxpotenzial sinkt dabei. Dies führt zu einer Absenkung der Mineralbestandteile im Wasser, die in Form von Sekundärmineralen ausfallen. Das Porenwasser, das so den größten Anteil seiner Mineralisierung verloren hat, wird dann als Grubenwasser abgepumpt und auf die geforderten Parameter aufbereitet.

An der Zusammensetzung des Grubenwassers beteiligen sich das Porenwasser und das sog. Spülwasser. Spülwasser besteht überwiegend aus Niederschlägen (hat eine verdünnende Wirkung) und verbreitet sich über natürliche, tektonische Störungen und durch die während der Bergbautätigkeit entstandenen Störungen im Untergrund.

Im Gebiet der abgebauten Lagerstätte kommt es somit zur Entstehung eines charakteristischen Verwitterungsprofils, dessen Oxidationszone an der Oberfläche lokalisiert ist, die Reduktionszone auf dem Niveau des momentanen Grundwasserniveaus und leicht darunter.

poruchách a poruchách vzniklých hornickou činností.

V rámci těženého ložiska dochází k vývoji charakteristického profilu zvětrávání, jehož oxidační zóna je lokalizována při povrchu, redukční zóna na úrovni okamžité hladiny podzemních vod a mírně pod ní.

Z dlouhodobého hlediska (řádově desítky let) lze předpokládat, že bude docházet k ředění pórových vod a vzniklé redukční prostředí povede k postupné imobilizaci rozpuštěných složek a k návratu systému do stavu, který byl v dané oblasti před zahájením důlní činnosti. Podzemní voda není po dobu stoupaní důlních vod k povrchu homogenní, podle lokálních podmínek na ložisku se obvykle vyvine stratifikace.

Povrchová a hlubinná těžba hnědého uhlí v severních Čechách zásadně změnila hydrogeologické poměry v Severočeské hnědouhelné pánvi (SHP), v současné době nově nazývané Mostecká pánev. Původně malá propustnost uhelné slaje se mnohonásobně zvýšila hlubinnou těžbou uhlí za současného snižování hladin podzemních vod v celém regionu vlivem odčerpávání důlních vod. Všechny výchozy se vlivem podrubání změnilly na potenciální infiltrační plochy. Uhelná slaj je v současné době hlubinně vyrubána mimo pilíře obcí a

Aus langfristiger Sicht (in der Größenordnung von Jahrzehnten) kann davon ausgegangen werden, dass es zu einer Verdünnung des Porenwassers kommt und die entstandene Reduktionsumgebung zur schrittweisen Immobilisierung der löslichen Bestandteile und somit zur Rückkehr des Systems in den Zustand vor Beginn der Bergbautätigkeit im konkreten Gebiet führt. Das Grundwasser ist über die Dauer des Grubenwasseranstiegs zur Oberfläche hin nicht homogen aufgebaut, abhängig von den lokalen Bedingungen der Lagerstätte entwickelt sich gewöhnlich eine Schichtung.

Der Braunkohlenabbau in Bergwerken und Tagebauen in Nordböhmen änderte grundsätzlich die hydrogeologischen Verhältnisse im Nordböhmischen Braunkohlenbecken (SHP), welches im tschechischen auch als *Moster Becker* (*Mostecká pánev*) bezeichnet wird. Die ehemals geringe Durchlässigkeit des Kohlenflözes erhöhte sich vielfach durch den Untertageabbau der Kohle bei gleichzeitigem Senken des Grundwasserniveaus in der gesamten Region durch das Abpumpen des Grubenwassers. Alle Aufschlüsse änderten sich durch Unterfahrung in potentielle Infiltrationsflächen. Die Kohle wird gegenwärtig in Bergwerken im gesamten Moster Beckens zwischen Ústí nad Labem, Most und Litvínov abgebaut. Es entstand so ein

měst v celém prostoru SHP mezi Ústím nad Labem, Mostem a Litvínovem. Vznikl tak nový umělý dobře propustný kolektor v přerubané uhelné sloji. Vlivem ukončení činnosti hlubinných dolů a přerušení čerpání důlních vod dochází k postupnému nastoupání podzemních stařinových vod v regionu, kdy vlivem jejich stoupání dochází k ovlivnění doposud činných povrchových dolů. Tyto skutečnosti rovněž výrazně ovlivňují procesy zahlazování hornické činnosti a jejich vliv na ekosystém a sídelní útvary.

Pro úspěšné řešení hydrogeologické a hydrochemické problematiky důlních vod v prostoru severočeské hnědouhelné pánve je nezbytné podrobně poznat současný a budoucí stav zvodnění uhelné sloje. Před ukončením těžby je tedy důvodné se zabývat otázkou, jak zabránit negativnímu vlivu důlních vod v budoucnu, zejména pak z titulu přiblížení hladiny důlních vod k historickým hodnotám podzemních vod. Právem očekávaný negativní vliv důlních vod na lokální rekultivace a revitalizace území zasažených hornickou činností a zastavěné území v nejnižší položených částech zasaženého území je nezbytné sofistikovaně eliminovat. Eliminovat znamená, mimo legislativní, věcné a finanční řešení prob-

neuer, künstlicher und gut durchlässiger Grundwasserleiter im überbauten Kohlenflöz. Durch Beendigung der Bergwerkstätigkeit und Unterbrechung der Wasserhaltung steigt das Grundwasser in der Region schrittweise wieder an und beeinflusst die bisher tätigen Tagebaue. Diese Tatsachen beeinflussen ebenfalls die Tilgungsprozesse der Bergbautätigkeit und deren Einfluss auf das Ökosystem und die umliegenden Gemeinden.

Für die erfolgreiche Lösung der hydrogeologischen und hydrochemischen Grubenwasserproblematik im Nordböhmischen Braunkohlenbecken ist es notwendig, die gegenwärtige und zukünftige Wassersättigung der Kohlenflöze zu kennen. Vor dem Abbau muss also die Frage diskutiert werden, wie der negative Einfluss des Grubenwassers in Zukunft verhindert werden kann, insbesondere in Hinsicht auf den Wiederanstieg des Grubenwassers und die Angleichung an den historischen Zustand des Grundwassers vor der Absenkung. Der erwartete negative Einfluss des Grubenwassers auf die lokale Rekultivierung und Revitalisierung, der durch die Bergbautätigkeit betroffenen und bebauten Gebiete in den am tiefsten gelegenen Teilen des Revieres, muss fachkundig eliminiert werden. Eliminieren bedeutet in diesem Fall, neben der legislati-

lematiky, i znát hydrogeologické a hydrochemické poměry v přerubané uhelné sloji.

Základní monitorování podzemních vod v oblasti mostecké uhelné pánve probíhá v systému monitorovacích vrtů – obrázek 7-1, ve kterém byla provozně sledována hladina a kvalita vod.

ven, sachlichen und finanziellen Lösung der Problematik auch die Kenntnis der hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse im überbauten Kohlenflöz zu beachten.

Das Monitoring des Grundwassers im Moster Becken erfolgt über ein System von Bohrungen, bei dem das Grundwasserniveau und die Qualität des Wassers überwacht werden (Abbildung 7-1).

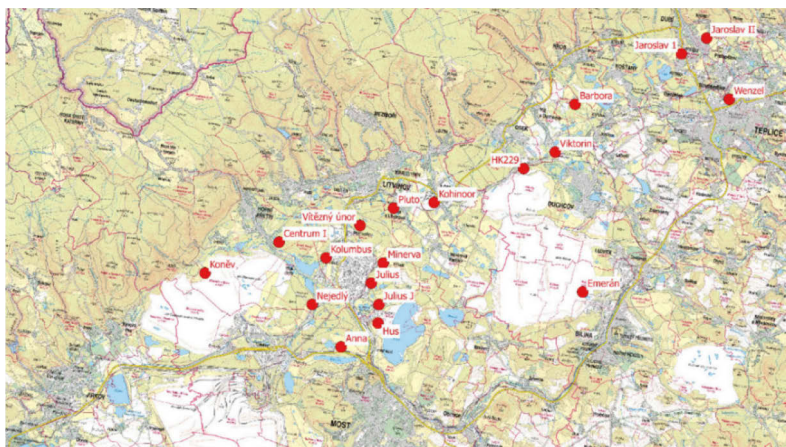


Abbildung 7-1: Lage der für das Grundwassermonitoring verwendeten Bohrungen.

Obrázek 7-1: Schéma umístění vrtů monitorovacího systému podzemních vod v mostecké hnědouhelné pánvi.

Weiterer Bestandteil der ausgeführten Arbeiten sind auch Karten, welche übersichtlich die Lage der einzelnen mit dem Netz der Monitoringbohrungen abgedeckten Gebiete im Maßstab 1:10.000 (bzw. 1:5.000) erfassen. Die hydrogeochemischen Karten charakterisieren die gegebene Lokalität aus

Součástí provedených prací jsou také mapové podklady zahrnující přehledné situace jednotlivých území pokrytých sítí vrtů, a to v měřítcích 1:10.000 (1:5.000), jako účelových podkladů k vizualizaci dat. Mapy chemismu charakterizují danou lokalitu z pohledu přítomnosti prvků (dle NEK,

Sicht der auftretenden Elemente (nach NEK, 401/2015, Slg.), Migrationspotential der Stoffe in Oberflächenwasserläufen und das Potential des Einflusses auf den Zustand der betroffenen Einzugsgebiete.

Im Rahmen des Monitorings wurde ein zentrales Register über die Verhaltenseigenschaften des Grundwassers der betrachteten Lokalität erstellt. In den einzelnen Monitoringphasen wurden Informationen gesammelt und vorhandene Daten ausgewertet. Aus den Monitoringdaten der Grundwasserbohrungen wurde ein hydrogeologisches Modell des Teilgebiets zusammengestellt, welches die vorhandenen Daten reflektiert und dem Informationstransfer zwischen den einzelnen Projektpartnern und der breiten Öffentlichkeit dient.

7.2. Monitoring und Messergebnisse des Grundwasserniveaus

Das Monitoring des Grundwasserniveaus in den Bohrungen erfolgte in Form manueller Punktmessungen der Tiefe des Grundwasserniveaus ab Abmesspunkt (OB) der Bohrung. Die Messungen wurden mit Elektrokontakt-Niveaumessgeräten G30, G100, G150 und G300 (Hersteller NPK Europe s.r.o., Geospol s.r.o.) vorgenommen.

401/2015, Sb.), potenciál migrace látek do povrchových vodotečí a potenciál jejich vlivu na stav dotčených povodí.

V rámci monitoringu byla vytvořena centrální evidence údajů o vlastnostech chování podzemních vod zájmových lokalit. V jednotlivých fázích monitoringu hladin vod byl uskutečněn sběr informací a hodnocení dostupných dat. Z dat monitoringu hladin podzemních vod ve vrtech byl sestaven vzorový hydrogeologický model dílčí části oblasti, který reflektuje získaná data a slouží k transferu informací mezi jednotlivými partnery projektu a široké veřejnosti.

7.2. Monitoring a výsledky měření hladin podzemních vod

Monitoring hladin podzemních vod ve vrtech byl prováděn formou bodového manuálního měření hloubky hladiny podzemní vody od odměrného bodu příslušného vrtu. Měření bylo prováděno pomocí elektrokontaktních hladinoměrů G30, G100, G150 a G300 (výrobce NPK Europe s.r.o., Geospol s.r.o.).

Hloubka hladiny podzemní vody (HPV) ve sledovaných vrtech byla změřena

Die Tiefe des Grundwasserniveaus (HPV) in den überwachten Bohrungen wurden in einem sehr breiten Bereich gemessen - von 12 m unter OB bei Bohrung 2 Wenzel (TN35) bis fast 300 m unter OB bei Bohrung 20 Kohinoor (LOM 30). In Bohrung 10 – Pluto (LK15) wurde im bewerteten Zeitraum bis zur Tiefe von 300 m kein Grundwasserniveau erreicht. Im Laufe des bewerteten Zeitraums war das Grundwasserniveau in den einzelnen Bohrungen recht stabil, mit leichtem Schwanken innerhalb von 0,2 m (11-Nejedlý, DJ 86) bis 3,3 m (9-Kolumbus, ZL70). Eine stärkere Bewegung des HPV wurde nur bei Bohrung 18 - Hus (MO 1105) ermittelt: von September 2019 bis Januar 2020 ein Absinken um fast 30 m, danach stabilisierte sich der Grundwasserstand mit leichter Oszillation.

Im Laufe der zweiten Hälfte 2020 war das Grundwasserniveau in den einzelnen Bohrungen verhältnismäßig stabil, in einer Bohrung stationär (14-Vítězný únor, LID 4), in weiteren Bohrungen mit leichten negativen Schwankungen zwischen 0,02 m (11-Nejedlý, DJ 86; 19-Anna, SS 88) bis 1,84 m (12-Julius, RL 4). Im angegebenen Zeitraum wurde in 5 Bohrungen ein schrittweiser leichter Anstieg des HPV zwischen +0,05 m (3-Žižka, CH 436) bis +0,51 m (5-Kolumbus, ZL 70) verzeichnet (Abbildung 7-2).

ve velmi širokém rozmezí - od 12 m pod OB u vrtu 2 Wenzel (TN35) po téměř 300 m pod OB u vrtu 20 Kohinoor (LOM 30). Ve vrtu 10 – Pluto (LK15) nebyla v průběhu hodnoceného období dosažena hladina podzemní vody do hloubky 300 m. V průběhu hodnoceného období byla v jednotlivých vrtech hladina podzemní vody poměrně stabilní, s mírným kolísáním v rozmezí 0,2 m (11-Nejedlý, DJ 86) až 3,3 m (9-Kolumbus, ZL70). Výraznější pohyb HPV byl zjištěn jen v případě vrtu 18 - Hus (MO 1105): od září 2019 do ledna 2020 pokles o téměř 30 m, poté ustálení s mírnou oscilací.

V průběhu druhé poloviny roku 2020 byla v jednotlivých vrtech hladina podzemní vody poměrně stabilní, v jednom vrtu ustálená (14-Vítězný únor, LID 4), v dalších vrtech s mírným kolísáním v rozmezí 0,02 m (11-Nejedlý, DJ 86; 19-Anna, SS 88) až 1,84 m (12-Julius, RL 4). V daném období byl v 5 vrtech zaznamenán postupný mírný vzestup HPV v rozmezí +0,05 m (3-Žižka, CH 436) až +0,51 m (5-Kolumbus, ZL 70). V ostatních vrtech byl zaznamenán postupný nebo kolísavý pokles HPV o -0,02 m (11-Nejedlý, DJ 86; 19-Anna, SS 88) až -1,84 m (12-Julius, RL 4) (obrázek 7-2).

Bohrung Vrt			OB [mm]	Monat Měsíc											
				IX 2019	X 2019	XI 2019	XII 2019	I 2020	II 2020	III 2020	IV 2020	V 2020	VI 2020	VII 2020	
1	Jaroslav	DU 7	327,26	247,86	246,57	246,88	245,50	245,24	245,80	247,41	248,02	247,82	247,05	246,88	
2	Wenzel	TN35	231,01	218,58	218,45	218,39	218,35	218,31	218,41	218,71	218,82	218,83	218,70	218,64	
3	Žižka	CH 436	298,81	270,39	270,46	270,54	270,51	270,51	270,58	270,60	270,61	270,56	270,61	270,61	
4	Viktorin	HD 51	241,04	190,81	190,57	190,37	190,27	189,95	189,84	189,91	190,26	190,91	191,18	191,32	
5	Kolumbus	ZL 70	241,71	90,96	91,28	91,67	91,91	91,95	91,97	*	93,03	93,57	93,96	94,22	
6	Koněv	AL 507													
7	Emerán	BZ 538	214,65			87,16	85,98	87,04	87,05	86,93	87,01	86,90	87,03	86,92	
8	Nelson III	HK 930	237,61	197,48	198,57	197,89	197,61	199,12	198,70	198,46	198,66	199,06	199,16	197,35	
9	Barbora	HT 8	280,15	246,83	246,81	246,79	246,77	246,90	247,02	247,50	247,42	246,98	246,88	246,81	
10	Pluto	LK 15	294,8		< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	< - 5	
11	Nejedlý	DJ 86	231,63	123,83	123,83	123,85	123,84	123,82	123,77	123,78	123,76	123,74	123,76	123,65	
12	Julius	RL 4	243,72							152,54	154,13	153,07	151,51	153,30	
13	Centrum I	HJI 365	246,74					86,47	86,35	86,32	86,50	86,64	86,82	86,98	
14	Vítězný únor	LID 4	300,72		64,87	65,35	65,06	64,97	65,08	65,03	65,22	65,62	64,90	65,95	
15	Minerva	RL 5	254,03					95,22	95,29	95,48	95,67	96,18	96,58	96,86	
16	Julius J	RL 6	249**							98,88	99,04	99,45	99,88	99,98	
17	Jaroslav II	DH 4	300**							250,13	250,21	248,61	247,92	247,55	
18	Hus	MO 1105	244,47	201,51	188,78	178,06	177,87	173,47	173,37	172,89	173,08	172,77	172,80	172,39	
19	Anna	SS 88	243,23	137,27	136,99	137,07	136,95	137,00	136,90	136,90	136,89	136,91	136,96	136,84	
20	Kohinoor	LOM 30	279**							-19,50	-19,50	-19,10	-19,87	-19,00	

Abbildung 7-2: Messergebnisse des Grundwasserniveaus in den überwachten Bohrungen. 1. Spalte – Bohrung Nr., 2. Spalte – Name, 3. Spalte – Katastergebiet Nr., 4. Spalte – Abmesspunkt, Höhe ü.d.M., 5.-15. Spalte – Grundwasserniveau unter Geländeoberkante.

Obrázek 7-2: Výsledky měření hladin podzemních vod v monitorovacích vrtech. 1. Sloupec – číslo vrtu, 2. sloupec – název vrtu, 3. sloupec – číslo katastrálního území, 4. sloupec - nadmořská výška ústí vrtu, 5.-15. sloupec – hladina podzemní vody pod úrovní terénu.

7.3. Ergebnisse des Grundwassermonitorings (Chemismus)

Aus den überwachten Bohrungen wurden Proben des Alt-Wassers (d.h. des Wassers, welches durch das Kohlenflöz fließt) entnommen. Die Proben wurden auf Grundlage der Dokumentation der technischen Ausführung

7.3. Výsledky monitoringu kvality (chemismu) podzemních vod

Z monitorovacích vrtů byly odebírány vzorky stařinových vod (tj. vod, které protékají uhelnou slojí). Vzorky byly odebírány z hloubkové úrovně uhelné sloje, dle dokumentace technického

der Bohrungen und des angetroffenen geologischen Profils aus dem Tiefenniveau des Kohlenflözes entnommen.

Die Proben wurden im dynamischen Zustand kurz nach Abpumpen des Wassers bis zur annähernden Stabilisierung der gemessenen physikalisch-chemischen Parameter des Wassers entnommen, bei Bohrungen mit einer Tiefe des dynamischen Wasserniveaus bis ca. 100 m unter OB, bei Bohrungen mit tieferem Wasserniveau mit Probenahme aus dem Tiefenniveau des Kohlenflözes.

Die Grundwasserproben wurden in Probengefäße nach Anforderungen des Untersuchungslabors entnommen. Die Proben wurden vor Licht- und Wärmeeinwirkung in einer Kühlbox (2 - 5 °C) geschützt und nachfolgend zur Analyse in das Labor gebracht.

Eine Auswertung der Wasserqualitätsanalyse wurde auf Grundlage der folgenden Punkte vorgenommen:

- Anforderungen an die Qualität von Rohwasser nach Anhang Nr. 13 zur Anordnung Nr. 428/2001 Slg.,
- Regierungsverordnung Nr. 401/2015 Slg., über Kennzahlen und Werte der zulässigen Verschmutzung von Oberflächen- und Abwasser, Obliegenheiten für die Genehmigung des Ablassens

provedení vrtů a dokumentace zastiženého geologického profilu.

Vzorky byly odebírány v dynamickém stavu po krátkém odčerpávání vody do přibližného ustálení měřených fyzikálně-chemických parametrů vody u vrtů s hloubkou dynamické hladiny vody do cca 100 m po OB, u vrtů s hlubší hladinou vody vzorkovačem z hloubkové úrovně uhelné sloje.

Vzorky podzemní vody byly odebrány do příslušných vzorkovnic dle požadavků laboratoře. Vzorky vod byly chráněny před účinky světla a tepla v chladicím boxu (2 – 5 °C) a následně dopraveny k analýze do laboratoře.

Hodnocení výsledků analýz kvality vody bylo provedeno porovnáním výsledků s:

- Požadavky na jakost surové vody, dle Přílohy č. 13 k vyhlášce č. 428/2001 Sb.,
- Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech,
- ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, Tabulka 1 - Nejvýše přípustné hodnoty (NPH) ukazatelů jakosti pro jednotlivé třídy.

von Abwasser in Oberflächenwasser und in die Kanalisation und über empfindliche Gebiete,

- ČSN 75 7143 Wasserqualität für Bewässerung, Tabelle 1, Höchstzulässige Werte (NPH) der Qualitätskennzahlen für die einzelnen Klassen.

Die Analyseergebnisse wurden mit den tschechischen Grenzwerten der Qualitätskennzahlen für unbeeinflusstes Grundwasser verglichen und in die zugehörige Qualitätskategorie (A1, A2, A3, >A3) eingestuft.

Nicht bewertet wurden die Parameter: Farbe, Geruch, Fluoride, adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX), Zyanide insgesamt, Aniontenside, Kohlenwasserstoffe C10-C40, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Pestizide insgesamt, Huminstoffe, das mikroskopische Bild, Pestizide einzeln und Sulfid.

Die Ergebnisse der Analyse wurden mit den Kennzahlen für den Zustand des Oberflächenwassers, der Norm der Umweltqualität und der Anforderungen an die Wassernutzung nach Anhang Nr. 3 zur Regierungsverordnung Nr. 401/2015 Slg., Tabelle 1a verglichen (Kennzahlen und Werte der zulässigen Verschmutzung von Oberflächenwasser und für Wasserversorgung und Baden bestimmten Wassers

Výsledky analýz byly srovnány s mezními hodnotami ukazatelů jakosti surové podzemní vody a zařazeny do příslušné kategorie jakosti (A1, A2, A3, >A3).

Nebyly hodnoceny parametry: barva, pach, fluoridy, adsorbovatelné organicky vázané halogeny (AOX), kyanidy veškeré, tenzidy aniontové, uhlovodíky C10-C40, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), pesticidní látky celkem, huminové látky, mikroskopický obraz, pesticidy jednotlivé, sulfan.

Výsledky analýz byly srovnány s hodnotami ukazatelů vyjadřujících stav povrchové vody, normy environmentální kvality a požadavky na užívání vod podle Přílohy č. 3 k nařízení vlády č. 401/2015 Sb., tabulka 1a: Ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod a vod užívaných pro vodárenské účely, koupání osob a lososové a kaprové vody.

Výsledky analýz byly srovnány s mezními hodnotami přípustného znečištění vod:

- Vyhovuje,
- Nevyhovuje.

Výsledky analýz byly srovnány s doporučenými, bezpečnými a mezními hodnotami jakostních ukazatelů kvality závlahové vody:

und für Lachs- und Karpfenwasser; Tabelle hier nicht abgebildet).

Die Analyseergebnisse wurden weiterhin mit den Grenzwerten der Wasserverschmutzung unter folgenden Gesichtspunkten verglichen:

- Entspricht,
- Entspricht nicht.

Die Analyseergebnisse wurden auch mit den empfohlenen, sicheren und Grenzwerten der Qualitätskennzahlen für Bewässerungswasser verglichen:

- < empfohlene Qualitätskennzahl,
- Sicherer Wert der Kennzahl (empfohlener < sicherer < Grenzwert),
- > Grenzwert (Limit-, Konfliktwert) der Kennzahl.

Nicht bewertet wurden die Parameter: Natriumabsorptionsverhältnis, Carbonathärte des Wassers und Gesamtcarbonathärte des Wassers.

Auswertung der Analyseergebnisse der Wasserqualität nach ČSN 75 7143 Wasserqualität für die Bewässerung:

Die Analyseergebnisse wurden mit den höchstzulässigen Werten (NPH) der Qualitätskennzahlen für die einzelnen Klassen verglichen:

- I - geeignet,
- II – bedingt geeignet,
- III – nicht geeignet.

- < doporučená hodnota jakostního ukazatele,
- Bezpečná hodnota ukazatele (doporučená < bezpečná < mezná),
- > mezná (limitním, konfliktní) hodnota ukazatele.

Nebyly hodnoceny parametry: Sodíkový absorpční poměr, uhličitánová tvrdost vody, celková uhličitánová tvrdost vody.

Hodnocení výsledků analýz kvality vody podle ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu:

Výsledky analýz byly srovnány s nejvýše přípustnými hodnotami (NPH) ukazatelů jakosti pro jednotlivé třídy:

- I - vhodná,
- II – podmíněně vhodná,
- III – nevhodná.

Nebyly hodnoceny parametry: kyanidy, fenoly, NEL, PCB, infekční paraziti, kolidágy, test klíčivosti, radiologie.

Nicht ausgewertete Parameter: Zyanide, Phenole, NEL, PCB, Infektionsparasiten, Coliphagen, Keimtest, Radiologie.

7.4. Zusammenfassungen des Grundwassermonitorings

Sicht der Anforderungen an die Qualität von Rohwasser nach Anhang Nr. 13 zur Anordnung Nr. 428/2001 Slg. fallen alle analysierten Proben in die Qualitätskategorie >A3.

In jeder Probe wurde mindestens 1 Parameter ermittelt, der nicht der Einstufung in Qualitätskategorie A3 entspricht. Eine der Proben enthielt sogar 9 Parameter, die über den Grenzwerten zur Einstufung in Qualitätskategorie A3 lagen.

Hinsichtlich der Kennzahlen der zulässigen Verschmutzung des Oberflächenwassers nach Regierungsverordnung Nr. 401/2015 Slg. entspricht keine der analysierten Proben den Grenzwerten.

In jeder Probe wurde mindestens 1 Parameter ermittelt, der den Wert für die zulässige Wasserverschmutzung überschritt. In einer Probe wurden 12 Parameter ermittelt, welche den zulässigen Wert der Wasserverschmutzung überstiegen.

Hinsichtlich der Kennzahlen der Wasserqualität für Bewässerung nach ČSN

7.4. Závěry monitoringu kvality podzemních vod

Z hlediska požadavků na jakost surové vody, dle Přílohy č. 13 k vyhlášce č. 428/2001 Sb., spadají všechny analyzované vzorky do kategorie jakosti >A3.

V každém vzorku byl zjištěn minimálně 1 parametr nevyhovující zařazení do kategorie jakosti A3. Nejvíce v jednom vzorku bylo zjištěno 9 parametrů nevyhovujících zařazení do kategorie jakosti A3.

Z hlediska ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. nevyhovuje příslušným limitům žádný z analyzovaných vzorků.

V každém vzorku byl zjištěn minimálně 1 parametr překračující hodnoty přípustného znečištění vod. Nejvíce v jednom vzorku bylo zjištěno 12 parametrů překračujících hodnoty přípustného znečištění vod.

Z hlediska ukazatelů jakosti vody pro závlahu dle ČSN 75 7143 některé vzorky vyhovovaly Třídě I - vhodná (10 vzorků ze 7 vrtů), některé vzorky vyhovovaly Třídě II - podmíněně

75 7143 entsprachen einige Proben der Klasse I - geeignet (10 Proben aus 7 Bohrungen) und einige der Klasse II - bedingt geeignet für Bewässerung (25 Proben aus 10 Bohrungen). Proben aus 5 Bohrungen fielen jedoch in Klasse III - nicht geeignet für Bewässerung.

7.5. Das Feldlabor als Instrument für Monitoring und Lehre

Meilenstein und wichtiges Ziel des Projekts GeoMAP war für die Bergbauhochschule - Technische Universität Ostrava die Errichtung eines Feldlabors, welches nicht nur für den Bedarf des Monitorings, sondern auch für den Unterricht der Studenten der Universität und für die Bildung der Öffentlichkeit sowie der Staatsverwaltung im Bereich Rekultivierung der Postbergbaulandschaft Nordböhmens dienen soll. Wichtiger Partner dieses Vorhabens war der Staatsbetrieb Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ), welches den Raum für die Laborbasis in seiner Zweigstelle Důl Kohinoor in der Gemeinde Mariánské Radčice zur Verfügung stellte. Gegenwärtig bearbeitet PKÚ die Folgen der Bergwerkstätigkeit in Form von Sanierung und Rekultivierung und beteiligt sich an der komplexen Revitalisierung und Resozialisierung der von der Bergbautätigkeit betroffenen Landschaft. In Zusammenarbeit mit PKÚ konnte ein Lehrraum für

vhodná (25 vzorků z 10 vrtů). Vzorky z 5 vrtů spadají do Třídy III - nevhodná pro závlahu.

7.5. Polní laboratoř jako nástroj pro monitoring i výuku

Milníkem a významným cílem projektu GeoMAP bylo pro VŠB – Technickou univerzitu Ostrava vybudování polní laboratoře, která by sloužila nejen pro potřeby monitoringu, ale také pro výuku studentů Technické univerzity a pro osvětu veřejnosti nebo státní správy v oblasti rekultivace post-hornické krajiny severních Čech. Důležitým partnerem tohoto zámeřu se stala společnost Palivový kombinát Ústí, státní podnik (PKÚ), která poskytla prostor pro zázemí laboratoře ve své pobočce Důl Kohinoor v obci Mariánské Radčice. V současnosti realizuje PKÚ likvidaci následků hornické činnosti formou sanace a rekultivace a podílí se na komplexní revitalizaci a resocializaci krajiny dotčené těžební činností. Díky partnerství s PKÚ byla připravena učebna, která bude sloužit pro teoretickou výuku studentů v metodách monitoringu. V blízké budoucnosti se, jak doufáme, může realizovat rovněž workshop pro

den theoretischen Unterricht der Studenten zum Thema Monitoringmethoden eingerichtet werden. In Zukunft sollen auch Workshops für die Öffentlichkeit, für Fachanwender und Wirtschaftsvertreter organisiert werden. Durch die Platzierung des Lehrraums direkt auf dem Gelände eines ehemaligen Bergwerks in der Bergbaulandschaft Nordböhmens kommt es zum synergetischen Effekt der Verbindung des theoretischen Unterrichts mit der praktischen Tätigkeit beim Monitoring in der Landschaft.

Zur technischen Ausstattung des Feldlabors gehört neben der Rechentechnik für den Unterricht vor allem ein Satz Überwachungsgeräte. Dieser Gerätesatz umfasst ein Höhenstandsmessgerät (Lichtlot; Abbildung 7-3), mobile Inklinometer, Drucksonden, Dehnungsmesser, Rissmesser, Dilatometer (Abbildung 7-4), Densitometer, universelle Probenentnehmer für Boden, Gesteine und Grundwasser, Permeameter-Satz für Luft, Terrainflügelsonde und Schmidthammer.

technickou veřejnost z praxe. Díky umístění učebny přímo v areálu bývalého dolu v hornické krajině severních Čech dochází k synergickému efektu propojení teoretické výuky s praktickou činností při monitoringu v krajině.

K technickému vybavení polní laboratoře tak kromě výpočetní techniky pro výuku patří především sada přístrojů pro monitoring. Jsou to hladinoměř (obrázek 7-3), mobilní inklinometr, piezometr, extenzoměř, trhlínoměr, dilatometr (obrázek 7-4), půdní objemový desintometr, univerzální vzorkovače zemin, hornin a podzemních vod, souprava permeametry pro vzduch, terénní vrtulková zkouška a Schmidtovo kladivo.



Abbildung 7-3: Tiefenmessung des Grundwasserspiegels in der Bohrung. Foto: VŠB – Technische Universität Ostrava.

Obrázek 7-3: Měření hladiny podzemní vody v monitorovacím vrtu. Foto: VŠB - Technická univerzita Ostrava.



Abbildung 7-4: In-situ Installation des Dilatometers und Rissmessers mit Wärmeübertragungsfühler für die Messung der Materialausdehnung am Stausee Jezeří (über den Sperrhängen des Steinbruchs ČSA). Foto: VŠB – Technische Universität Ostrava.

Obrázek 7-4: Ukázka funkce a in-situ instalace dilatometru a trhlinoměru s teploměrným čidlem pro kompenzaci roztažnosti materiálů na přehradě Jezeří (nad závěrnými svahy lomu ČSA). Foto: VŠB - Technická univerzita Ostrava.

Die COVID-19-Pandemie und ihre Einschränkungen führten dazu, dass der praktische Unterricht im Feldlabor und geplante Workshops im Zeitraum des Projektes verschoben werden mussten. Im Rahmen des Projekts GeoMAP konnte jedoch für die Studenten der TU Ostrava noch ein Monitoring-Workshop in der Anlage im Februar 2020 realisiert werden (Abbildung 7-5 und 7-6). Nach Besserung der Situation werden Workshops und Unterricht im Feldlabor wieder angeboten.

Do realizace výukové činnosti polní laboratoře bohužel negativně zasáhla pandemie nemoci covid-19, která znemožnila konání praktické výuky i workshopů. V rámci projektu Geomap se tak podařilo s vybavením polní laboratoře pro studenty realizovat workshop monitoringu v terénu v únoru 2020 (obrázek 7-5 a 7-6). Po zlepšení situace budou workshopy i výuka v polní laboratoři dále pokračovat.



Abbildung 7-5: Exkursion und Workshop der Studenten GeoMAP im Februar 2020. Foto: VŠB – Technische Universität Ostrava.

Obrázek 7-5: Exkurze a workshop studentů Geomap v únoru 2020. Foto: VŠB - Technická univerzita Ostrava.



Abbildung 7-6: Exkursion und Workshop der Studenten der TU Ostrava im Rahmen des Projekts GeoMAP im Februar 2020. Es wird beispielhaft die Sanierung und die Überwachung der Sperrhänge des Sees Most gezeigt (Siphondrainage - Tiefenentwässerung, Messen mit Drucksonden - Porendruck und HPV, inklinometrische Messungen - Hangbewegungen). Foto: VŠB – Technische Universität Ostrava.

Obrázek 7-6: Exkurze a workshop studentů Geomap v únoru 2020. Ukázka sanace a monitoringu závěrných svahů jezera Most (sifónové drény – hloubkové odvodnění, měření piezometry – pórové tlaky a HPV, inklinometrická měření – svahové pohyby). Foto: VŠB - Technická univerzita Ostrava.

8. Workshops und Fachkonferenzen

8. Workshopy a odborné konference

Autoren | Autoři: Hädecke, S.¹, Rommel, A.¹, Weber, F.², Oppelt, L.³, Mališ, J.⁴

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

²TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

³TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik

⁴Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Eine Hauptaufgabe des Projekts Geo-MAP war die Wissensvermittlung und der Aufbau eines Netzwerkes. Aus diesem Grund wurden von 2019 bis 2021 mehrere Workshops und Fachkonferenzen im Wechsel von den einzelnen Projektpartnern auf deutscher und tschechischer Seite organisiert. Die Themen der Treffen reichten dabei von der geothermischen Nutzung von Grubenwasser, über die Modellierung von Geländehebungen im Altbergbau bis hin zur Datenakquise in Bergbaufolgelandschaften. Um den grenzüberschreitenden Gedanken des Projektes zu fördern, wurden während der Tagungen sowohl deutsche als auch tschechische Expert*innen aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung eingeladen. Nur durch diese grenz- und themenüberschreitende Zusammenarbeit konnte eine funktionierende und anhaltende Netzwerkbildung zustande kommen.

Jedním z hlavních úkolů projektu Geo-MAP bylo předávání znalostí a vytvoření sítě kontaktů a partnerů. Z tohoto důvodu uspořádali jednotliví partneři projektu v letech 2019 až 2021 na německé a české straně střídavě několik workshopů a odborných konferencí. Témata setkání se týkala geotermálního využití důlní vody přes modelování reliéfu ve starém důlním díle až po sběr dat v post-hornické krajině. Za účelem podpory přeshraniční myšlenky projektu byli na konferenci pozváni němečtí i čeští odborníci z oblasti obchodu, výzkumu a administrativy. Pouze díky této přeshraniční spolupráci napříč tématy bylo možné vytvořit fungující a trvalou síť.

Další informace naleznete na webových stránkách projektu www.geomap.sachsen.de → „Obsah projektu“.

Weitere Informationen sind auf der Projektwebseite www.geomap.sachsen.de unter dem Reiter „Projekthinhalte“ zu finden.

1. Workshop: „Methoden zur Erfassung und Bewertung von geologischen, hydrologischen, umweltrelevanten und geothermischen Daten in Bergbaufolgelandschaften und deren Verarbeitung in 3D-Modellen im Braunkohlentagebau Most“ - Most

Am 15.05.2019 fand der erste GeoMAP-Partnerworkshop in Most statt. Organisiert wurde dieser vom Projektpartner PP2 TU Ostrava. Während des Treffens wurden in 3 Vorträgen mit anschließender Diskussion die bisherigen Ergebnisse für das Arbeitsgebiet Most präsentiert:

- J. Mališ (TU Ostrava): Einführung zu den Problemen am Moster See
- J. Šancer (TU Ostrava): Anwendung von *light dynamic penetration* und geophysikalischen Messungen bei Erdbeben
- M. Klempa (TU Ostrava): Geologie der Moster Region in Bezug zu vorhandenen Bergbauaktivitäten unter Nutzung von Geofond-Datenbanken.

Im Anschluss an die Vorträge besuchten die Teilnehmer den rekultivierten Tagebaurestsee Most und bekamen

1. Workshop „Metody evidence a hodnocení geologických, hydrogeologických, ekologických a geotermických dat v krajině po těžbě uhlí a jejich zpracování formou 3D modelů v Mosteckém hnědouhelném revíru“ -Most

Dne 15. května roku 2019 se v Mostě konal první partnerský workshop GeoMAP. Ten byl organizován projektovým partnerem PP2 TU Ostrava. Během setkání byly prezentovány předchozí výsledky pro pracovní oblast Most ve 3 přednáškách s následnou diskusí:

- J. Mališ (TU Ostrava): Úvod do problematiky jezera Most
- J. Šancer (TU Ostrava): Využití lehké dynamické penetrace a geofyzikální měření na sesuvných územích
- M. Klempa (TU Ostrava): Geologie oblasti ve vztahu k hornické činnosti, využití dat z databází geofondu a další

V návaznosti na prezentace navštívili účastníci rekultivovaný povrchový důl - jezero Most a při sledování možných environmentálních rizik v této oblasti získali zajímavý pohled na práci českých kolegů. Součástí exkurze byla

einen interessanten Einblick in die Arbeit der tschechischen Kollegen zur Überwachung möglicher Umweltgefahren in dem Gebiet. Teil der Exkursion waren unter anderem die Vorführung einer Kamerabefahrung in eine der Grundwassermessstellen am Moster See (Abbildung 8-1) sowie eine Grundwasserprobenahme an der lokalen Pumpstation.

Vertreter des PP1b nutzten die Gelegenheit für Vor-Ort-Messungen und zur Gewinnung von Proben für weitere, umfangreiche Laboruntersuchungen zur chemischen Beschaffenheit des Grundwassers. Die Auswertung der Proben erfolgt im Rahmen eines weiteren deutsch-tschechischen EU-Projektes (VODAMIN II).

Dieser erste Workshop war eine gelungene Veranstaltung, welche die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern gestärkt und den Erfahrungsaustausch vorangebracht hat.



kromě jiného ukázka kamerové prohlídky jednoho z monitorovacích vrtů podzemní vody na jezeře Most (obrázek 8-1) a také odběr vzorků podzemní vody na bývalé jámě MR1, nyní sloužící k čerpání důlních vod.

Zástupci PP1b využili příležitosti pro měření na místě a pro odběr vzorků pro další rozsáhlé laboratorní testy chemických vlastností podzemních vod. Vzorky jsou hodnoceny v rámci dalšího německo-českého projektu EU (VODAMIN II).

Tento první workshop byl úspěšnou akcí, která posílila spolupráci mezi partnery projektu a podpořila výměnu zkušeností.



Abbildung 8-1: Links: Begutachtung einer Grundwassermessstelle mit anschließender Probenahme. Rechts: Teilnehmer des Workshops diskutieren am Moster See die geologischen und geotechnischen Besonderheiten des Gebietes. Fotos: VŠB – Technische Universität Ostrava.

Obrazek 8-1: Vlevo: Prohlídka monitorovacího vrtu podzemní vody s následným vzorkováním. Vpravo: Účastníci semináře diskutují o geologických a geotechnických vlastnostech oblasti u Mosteckého jezera. Foto: VŠB Ostrava.

2. Workshop: „Möglichkeiten der computergestützten Simulation von Grund- und Grubenwasseranstieg: Erfassung, Bewertung, 3D-Modellierung und -Visualisierung von Daten zur Geologie, Hydrogeologie, Tektonik, Altbergbau und Grubenflutung im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz“ – Lugau/Oelsnitz

Der zweite GeoMAP-Partnerworkshop fand am 11.07.2019 in Oelsnitz/Erzgebirge statt und wurde vom LP (LfULG) organisiert. Unter dem Leitthema „Möglichkeiten der computergestützten Simulation von Grund- und Grubenwasseranstieg: Erfassung, Bewertung, 3D-Modellierung und -Visualisierung von Daten zur Geologie, Hydrogeologie, Tektonik, Altbergbau und Grubenflutung im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz“ war es das erklärte Ziel der Veranstaltung, einen Erfahrungsaustausch zwischen den Teilnehmern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung anzuregen.

Neben den deutschen und tschechischen Projektpartnern waren kommunale Vertreter der Stadt Oelsnitz, der Gemeinden Gersdorf und Hohndorf

2. Workshop „Možnosti počítačové simulace vzestupu podzemní a důlní vody: Získávání, vyhodnocování, 3D modelování a vizualizace údajů o geologii, hydrogeologii, tektonice, staré těžbě a zatopení dolů v černouhelné oblasti Lugau/Oelsnitz“ - Lugau/Oelsnitz

Druhý partnerský workshop GeoMAP se konal dne 7.11.2019 v Oelsnitz / Krušnohoří a byl organizován LP (LfULG). Pod hlavním tématem „Možnosti počítačové simulace vzestupu podzemní a důlní vody: Pořízení, vyhodnocení, 3D modelování a vizualizace údajů o geologii, hydrogeologii, tektonice, staré těžbě a záplavách dolů v černouhelném revíru Lugau / Oelsnitz“, bylo deklarováným cílem akce podpoření výměny zkušeností mezi účastníky z oblastí podnikání, vědy a státní správy.

Kromě německých a českých projektových partnerů zde byli zástupci obcí z města Oelsnitz, obcí Gersdorf a Hohndorf a odborníci ze Zemského úřadu pro životní prostředí, zemědělství a geologii, Technické univerzity Georga Agricoly v Bochumi, přítomni byli také

sowie Sachkundige des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum, der WISMUT GmbH und der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH Freiberg anwesend.

Die 5 Fachvorträge im ersten Teil der Veranstaltung beleuchteten aus verschiedenen Perspektiven die Datengewinnung, Datenverarbeitung und die modellhafte Umsetzung und Visualisierung für geologische und insbesondere montanhydrogeologische Fragestellungen (Abbildung 8-2). Es referierten dazu:

- S. Hädecke (LfULG): Ein Zwischenbericht zur Datengrundlage der Modellierungen in GeoMAP
- T. Abraham (G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH): Hydrochemische und isotopehydrogeologische Besonderheiten der Flutungswässer der ehemaligen Steinkohlegruben in Oelsnitz und Gersdorf
- Görz (LfULG): Das EU-Projekt GeoPLASMA-CE: Geologische 3D Modellierung, thermische Potentiale und Nutzungskonflikte für oberflächennahe geothermische Anlagen
- M. Frenzel (WISMUT GmbH): 25 Jahre Flutung der Grube Dresden-Gittersee – Erfahrungen und Ausblick

zástupci firem WISMUT GmbH a GEOS Ingenieurgesellschaft mbH Freiberg.

5 odborných přednášek v první části akce zdůraznilo získávání dat, zpracování dat a implementaci a vizualizaci modelování pro geologické a zejména těžební hydrogeologické problémy z různých perspektiv (obrázek 8-2). Přednášejícími byli také:

- S. Hädecke (LfULG): Průběžná zpráva o datové bázi modelování v GeoMAP
- T. Abraham (G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH): Hydrochemické a izotopové hydrogeologické zvláštnosti povodňových vod bývalých uhelných dolů v Oelsnitz a Gersdorfu
- I. Görz (LfULG): Projekt EU GeoPLASMA-CE: Geologické 3D modelování, tepelné potenciály a konflikty použití pro blízké povrchové geotermální systémy
- M. Frenzel (WISMUT GmbH): 25 let zaplavení dolu Drážďany-Gittersee - zkušenosti a vyhlídky
- E. Mugova (THGA Bochum): Stratifikace hustoty v zatopených podzemních dolech - vyšetřovací metody a modelování.

Po prezentacích následovala živá diskuse, která porovnávala současný stav znalostí a předchází stále vynikající opatření v revíru Lugau / Oelsnitz

- E. Mugova (THGA Bochum): Dichteschichtung in gefluteten Untertagebergwerken – Untersuchungsmethoden und Modellierung.

Nach den Vorträgen schloss sich eine rege Diskussionsrunde an, die den aktuellen Wissensstand und die bisherigen sowie noch ausstehenden Maßnahmen im Revier Lugau/Oelsnitz mit denen in anderen Steinkohlerevieren Deutschlands und Tschechiens verglich.

Nach neuen Impulsen und Anregungen, ging es zu einer Exkursion durch das ehemalige Steinkohlenrevier. Neben historischen Schauplätzen wie der Vaterlandsgrube und dem Ortsteil Waldesruh (Ort der größten bergbaubedingten Senkungen), wurden vor allem für die montanhydrogeologische Erkundung relevante Punkte angefahren, wie bspw. die Grubenwassermesstelle Oelsnitz.

s Opáteními v ostatních černouhelných oblastech v Německu a České republice.

Po nových podnětech a názorech jsme se vydali na exkurzi do bývalého hornického uhelného areálu. Kromě historických památek, jako je např. důl Vaterlandsgrube a okres Waldesruh (místo největšího útlumu souvisejícího s těžbou), byla navštívena místa relevantní pro hydrogeologický průzkum těžby, jako je měřicí bod důlní vody Oelsnitz.



Abbildung 8-2: Vortrag der WISMUT GmbH zum Thema „Flutung der Grube Dresden-Gittersee“. Foto: S. Hädecke.

Obrázek 8-2: Přednáška společnosti WISMUT GmbH na téma „Zaplavení dolu Drážďany-Gittersee“. Foto: S. Hädecke.

3. Workshop: „Möglichkeiten der computergestützten Simulation von Grundwasser- und Grubenwasseranstieg: Hebungen/Senkungen und deren Auswirkungen auf Umwelt und Infrastruktur im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz“ - Freiberg

Am 08.10.2019 organisierte der Projektpartner PP1a Institut für Geotechnik (TU Bergakademie Freiberg) den dritten Workshop im Rahmen des Projektes GeoMAP. Der Workshop gab den Projektpartnern einen Überblick über die Möglichkeiten der computergestützten Simulation von Grund- und Grubenwasser(anstieg) u.a. im Kontext des Altbergbaus. Neben dem hyd-

3. Workshop „Možnosti počítačové simulace vzestupu podzemní a důlní vody: Vzestupy / poklesy a jejich dopady na životní prostředí a infrastrukturu v černouhelné oblasti Lugau / Oelsnitz“ - Freiberg

Dne 08.10.2019 uspořádal projektový partner PP1 a Institut geotechniky (TU Báňská akademie Freiberg) třetí workshop v rámci projektu GeoMAP. Workshop poskytl projektovým partnerům přehled o možnostech počítačem podporované stimulace (vzestupu) podzemních a důlních vod mimo jiné v kontextu staré těžby. Kromě diskuse na téma hydraulického chování podloží se diskutovalo také o mechanickém chování jednotek hornin.

raulischen Verhalten des Untergrundes im Altbergbauggebiet wurde auch das mechanische Verhalten der Gesteinseinheiten diskutiert.

Während des Workshops wurden Präsentationen aus verschiedenen Anwendungsbereichen computergestützter Simulationen im Bereich Geotechnik vorgestellt und die wesentlichen Erkenntnisse und Erfahrungen mit den Teilnehmern diskutiert. Zu diesen Themen sprachen:

- C. Butscher (TU Bergakademie Freiberg): Numerische Simulation der Interaktion unterirdischer Hohlräume mit dem Grundwasser
- H. Konietzky (TU Bergakademie Freiberg): Numerische Verfahren zur geomechanisch-hydraulischen Modellierung
- G. Lüttschwager (TU Bergakademie Freiberg): Aktueller Stand der numerischen Modellierungen im Projekt GeoMAP.

Der erste Vortrag der Veranstaltung widmete sich als anwendungsorientierter Einstieg dem Einfluss von Wasser auf den Untertagebau mit Schwerpunkt Tunnelbau. Danach wurden verschiedene Methoden vorgestellt, wie numerische Modellierungen für geomechanische und hydraulische Fragestellungen zum Untergrund genutzt werden können. Aufbauend auf dieser

Během workshopu byly představeny prezentace z různých oblastí aplikace počítačem podporovaných simulací v oblasti geotechniky a proběhla diskuse s účastníky o hlavních poznatcích a zkušenostech. Na tato témata přednášeli:

- C. Butscher (TU Bářská akademie Freiberg): Numerická simulace interakce podzemních prostor s podzemní vodou
- H. Konietzky (TU Bářská akademie Freiberg): Numerické metody pro geomechanicko-hydraulické modelování
- G. Lüttschwager (TU Bářská akademie Freiberg): Aktuální stav numerického modelování v projektu GeoMAP.

První přednáška workshopu byla jako uživatelsky orientovaný úvod věnována vlivu vody na podzemní stavby se zaměřením na výstavbu tunelů. Poté byly představeny různé metody, které demonstrovaly, jak lze numerické modelování použít pro geomechanický a hydraulický výzkum podpovrchového reliéfu. Na závěr byly na tomto základě představeny a diskutovány možnosti a aktuální stav prací na numerických modelech pro projektovou oblast staré těžby Lugau/Oelsnitz.

Součástí akce byla také exkurze do laboratoře mechaniky hornin v Institutu geotechniky na TU Bářské akademii ve

Grundlage wurden abschließend die Möglichkeiten und der aktuelle Arbeitsstand der numerischen Modellierungen für das Untersuchungsgebiet im ehemaligen Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz präsentiert und diskutiert.

Die Veranstaltung beinhaltete zudem eine Exkursion in das Gesteinsmechanische Labor des Instituts für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg. Hier hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit sich über hydro-thermo-mechanisch gekoppelte Standard- und Spezialversuche mittels hochmoderner, technischer Geräte zu informieren. Es wurden insbesondere Geräte für echte biaxiale Spannungsuntersuchungen sowie Triaxialversuche gezeigt (Abbildung 8-3). Diese Versuche an den Gesteinsproben legen durch die daraus gewinnbaren mechanischen Parameter die Grundlage für alle numerischen Modellierungen.

Freibergu. Účastníci zde měli možnost získat informace o hydro-termo-dynamicky propojených standardních a speciálních zkouškách prováděných s pomocí nejmodernějších technických zařízení. Představena byla zejména zařízení na pravé biaxiální zkoušky napětí a také triaxiální testy (Obrázek 8-3). Tyto testy vzorků hornin položily základ pro veškeré numerické modelování díky mechanickým parametrům, které z nich lze získat.



Abbildung 8-3: Links: Im Rahmen des 3. Workshops wurden verschiedene Präsentationen zum Thema „computergestützte Simulation von Grund- und Grubenwasseranstieg“ gehalten. Rechts: Mitarbeiter des Gesteinsmechanischen Labors der TU Bergakademie Freiberg erklären den Teilnehmern des GeoMAP-Workshops die Versuchsanlagen zur Analyse von Gesteinsparametern. Foto: links S. Pose, rechts P. Ernst.

Obrázek 8-3: Vlevo: V rámci 3. workshopu proběhly různé prezentace na téma „počítačem podporované simulace vzestupu podzemní a důlní vody“. Vpravo: Pracovníci laboratoře mechaniky hornin TU Báňské akademie Freiberg vysvětlují účastníkům workshopu GeoMAP testovací zařízení pro analýzu parametrů hornin. Foto: P. Ernst a S. Pose.

4. Workshop: „Grubenwasser als regenerative Energiequelle in der gesamten Bergbauregion Erzgebirge/Krušnohoří“ - Freiberg

Im Rahmen des am 27.02.2020 stattgefundenen 4. Workshops zum Thema „Grubenwasser als regenerative Energiequelle in der gesamten Bergbauregion Erzgebirge/Krušnohoří“ organisierte der GeoMAP-Projektpartner PP1b Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik (TU Bergakademie Freiberg) eine Exkursion in das Bergbaurevier Freiberg mit anschließender Vortragssession und Diskussion.

Während der Untertageexkursion (Abbildung 8-4) wurden Bestandteile der Grubenwassergeothermieanlage des Freiburger Krankenhauses (z.B. der Wärmeübertrager und Zyklonabscheider) besichtigt und den Teilnehmern die Schwierigkeiten der Anlageninstallation und –wartung dargestellt. In einer Teufe von über 200 m wurde außerdem der Hauptentwässerungsstollen des Freiburger Reviers (Rothschönberger Stolln) besucht, aus dem die

4. Workshop „Důlní voda jako obnovitelný zdroj energie v hornickém regionu Erzgebirge/Krušnohoří“ - Freiberg

V rámci 4. workshopu na téma „Důlní voda jako obnovitelný zdroj energie v hornickém regionu Erzgebirge/Krušnohoří“ konaného dne 27.02.2020 zorganizoval jeden z partnerů projektu GEOMAP - PP1b Institut tepelného inženýrství a termodynamiky (TU Báňská akademie Freiberg) - exkurzi do důlního revíru Freiberg a následné přednášky s diskusí.

Během exkurze do podzemí si účastníci prohlédli součásti geotermálního zařízení nemocnice Freiberg využívající důlní vodu, např. přenašeč tepla a cyklónový odlučovač, a seznámili se s obtížemi při instalaci a údržbě zařízení (obrázek 8-4). V hloubce více než 200 m navštívili kromě toho účastníci hlavní odvodňovací štolu revíru Freiberg (Rothschönberger Stolln), ze které využívá zařízení vodu o teplotě cca 13°C. S topným výkonem 860 kW patří systém

Anlage das etwa 13 °C warme Wasser nutzt. Mit einer Heizleistung von 860 kW gehört die Anlage dabei zu den fünf größten Grubenwassergeothermieanlagen weltweit.

Anschließend an die Exkursion wurden in drei Vorträgen die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Grubenwasser betrachtet sowie anfallende Probleme und mögliche Lösungen diskutiert:

- B. Russin (H+E GmbH, S-Tec GmbH): Möglichkeiten der Wasserreinigung
- L. Oppelt (TU Bergakademie Freiberg): Grubenwasser als regenerative Energiequelle – Funktion-Beispiele-Potenziale
- U. Jenk (Wismut GmbH): Sanierung der Uranerzgrube Königstein.

Im ersten Vortrag wurde den Teilnehmern ein Überblick über die Anforderungen und Probleme bei der Wasserreinigung vermittelt. Anschließend wurden Betriebsdaten bestehender Grubenwassergeothermieanlagen vorgestellt sowie weitere geothermische Potenziale auf sächsischer und tschechischer Seite des Erzgebirges evaluiert und unter dem Fachpublikum diskutiert.

Abschließend wurde die Notwendigkeit und die damit verbundenen Aufgaben der Altbergbausanierung am

mezi fünf největších světových geotermálních systémů s důlní vodou.

Po exkurzi následovaly tři přednášky, které představily možnosti energetického využití důlních vod, a proběhla diskuse o problémech s tím spojených a možných řešeních.

- B. Russin (H+E GmbH, S-Tec GmbH): Možnosti čištění vody
- L. Oppelt (TU Báňská akademie Freiberg): Důlní voda jako obnovitelný zdroj energie - funkce-příklady-potenciály
- U. Jenk (WISMUT GmbH): Sanace dolu na uranovou rudu Königstein.

Během první přednášky obdrželi účastníci přehled požadavků a problémů spojených s čištěním vody. Následně byla představena provozní data stávajících geotermálních zařízení využívajících důlní vodu a byl vyhodnocen a s přítomnými prodiskutován další potenciál na české a saské straně Krušnohoří.

Nakonec byla na příkladu ložiska uranu v Königsteinu diskutována nezbytnost renovace starého důlního díla a s ní související úkoly. V budoucnu bude tamější záplavová voda využívána také v procesu úpravy záplavové vody jako hlavního zdroje energie pro zásobování tepla funkčních a provozních budov v areálu úpravny.

Beispiel der Uranlagerstätte Königs-
tein betrachtet. Zukünftig wird dort
das Flutungswasser im Prozess der
Flutungswasserbehandlung auch als
Hauptenergiequelle für die Wärme-
versorgung der Funktional- und Be-
triebsgebäude auf dem Gelände der
Wasseraufbereitungsanlage genutzt.



Abbildung 8-4: Exkursion in das Bergwerk „Reiche Zeche“ mit Besichtigung des Hauptentwässerungsstollen und der Grubenwassergeothermieanlage. Fotos: S. Pose.



Obrázek 8-4: Exkurze do dolu „Reiche Zeche“ s návštěvou hlavního odvodňovacího tunelu a geotermálního systému důlní vody. Foto: S.Pose.

5. Workshop: „Methoden zur Daten- akquise und -evaluierung in vom Berg- bau beeinflussten Landschaften“ - Most

Am 17.09.2020 organisierte erneut
der Projektpartner PP2 (TU Ostrava)
den fünften Workshop im Rahmen des
Projektes GeoMAP (Abbildung 8-5).
Der Workshop "Methoden zur Daten-
akquise und -evaluierung in vom Berg-
bau beeinflussten Landschaften" gab
den Projektpartnern in vier Vorträgen
einen Überblick über die vom Bergbau

5. Workshop „Metody zjišťování a vyhodnocování dat na místech po- stížených těžbou“ - Most

Dne 17. září 2020 uspořádal opět pro-
jektový partner PP2 (TU Ostrava) pátý
workshop v rámci projektu GeoMAP
(obrázek 8-5). V rámci čtyř přednášek
prezentovaných na workshopu "Me-
tody zjišťování a vyhodnocování dat
na místech postižených těžbou" získali
projektoví partneři představu o se-
veročeském regionu v okolí města
Mostu, který byl silně zasažen přede-
vším těžbou hnědého uhlí.

(vornehmlich durch Braunkohlengewinnung) stark beanspruchte Nordböhmisches Region um die Stadt Most:

- J. Mališ (TU Ostrava): Erfahrungsbericht zum Langzeit-Monitoring des Tagebaurestsees Most
- J. Šancer (TU Ostrava): Geomechanische und geotechnische Messungen in vom Bergbau beeinflussten Gebieten
- M. Klempa (TU Ostrava): Energetische Nutzung des Untergrundes – Ergebnisse aus der Hochschulforschung
- V. Zubíček (TU Ostrava): Bergbauaktivitäten mit Auswirkungen auf die Landschaft.

Die Vorträge deckten ein breites Spektrum an Informationen ab und reichten von einer Vorstellung geotechnischer und geomechanischer Methoden zur Überwachung einer Post-Bergbau Landschaft bis hin zur Präsentation von Nachnutzungskonzepten und den damit möglicherweise auftretenden Komplikationen für Mensch und Umwelt.

Aufgrund der COVID-19-Pandemie musste eine geplante Exkursion an den nahegelegenen und mittlerweile für Naherholungszwecke freigegebenen See leider abgesagt werden.

- J. Mališ (TU Ostrava): 1. Zkušenosti s dlouhodobým monitoringem jezera Most
- J. Šancer (TU Ostrava): 2. Geomechanické a geotechnické měření na územích postižených těžbou
- M. Klempa (TU Ostrava): 3. Energetické využití horninového prostředí – univerzitní výzkum
- V. Zubíček (TU Ostrava): 4. Hornická činnost ovlivňující krajinu – případové studie

Přednášky obsahovaly široké spektrum informací, od prezentace geotechnických a geomechanických metod monitorování post-těžební krajiny až po představení koncepcí následného využití a s tím spojených případných komplikací pro člověka a životní prostředí.

Kvůli pandemii COVID-19 musela být zrušena plánovaná exkurze k nedalekému jezeru, které je nyní otevřené pro rekreační účely.



Abbildung 8-5: Die verschiedenen Projektpartner diskutieren während einer Pause zwischen den Vorträgen. Foto: VŠB – Technische Universität Ostrava.

Obrázek 8-5: Během přestávky mezi přednáškami probíhá diskuse mezi různými projektovými partnery. Foto: VŠB - Technická univerzita Ostrava.

Außerplanmäßiger Workshop: „Erfahrungsaustausch zur Erschließung alter Grubenrisswerke für Fragestellungen des Nachbergbaus und der Rohstoffprospektion in Sachsen“ - Freiberg

Im Rahmen von GeoMAP fanden umfangreiche Recherchen in verschiedenen, sächsischen Archivstandorten statt, um die Datengrundlage für das geologische 3D-Modell des Steinkohlenreviers Lugau/Oelsnitz zusammenzustellen. Die dabei als relevant eingestuft Rissunterlagen stammen aus

Mimořádný workshop: „Výměna zkušeností s vývojem starých důlních děl v otázkách souvisejících s těžbou a průzkumem surovin v Sasku“ - Freiberg

V rámci projektu GeoMAP byl na různých saských archivovaných lokacích proveden rozsáhlý výzkum za účelem sestavení datové základny pro geologický 3D model černouhelného revíru Lugau / Oelsnitz. Záznamy dokumentující výkresová dokumentace, která přitom byla klasifikována jako

dem Zeitraum von ca. 1850 bis 1979 und wurden nach alten Zeichenregelungen, Farblegenden und mit speziellen Raum- sowie Höhenbezügen angefertigt. Die Arbeit mit historischen Grubenrissen als Datengrundlage stellt eine besondere Herausforderung dar, die nicht nur Thema in GeoMAP war, sondern die auch bei zukünftigen Vorhaben und Aufgabenstellungen eine große Rolle spielen wird.

Zum Workshop „Erfahrungsaustausch zur Erschließung alter Grubenrissewerke für Fragestellungen des Nachbarbaus und der Rohstoffprospektion in Sachsen“ haben am 21.11.2019 vier Referenten das Thema Altdatenererschließung, -aufarbeitung und -speicherung aus verschiedenen Blickwinkeln erörtert, sodass die Teilnehmer ihr Verständnis für alte bergmännische Dokumentationen als Ausgangsdaten geologischer Visualisierungen und Modelle verbessern konnten (Abbildung 8-6). Organisiert wurde dieser Workshop vom LP (LfULG).

Ein weiteres Ziel der Veranstaltung war es, das bereits existierende Wissensnetzwerk zu erweitern und zu festigen. Während des Workshops wurden folgende Vorträge gehalten:

- H. Michaely (THGA Bochum): Das bergmännische Kartenwerk – ein Wissensspeicher

relevantní, pochází z let cca 1850 až 1979 a vznikla podle starých výkresových pravidel, barevných legend a se speciálními prostorovými a výškovými referencemi. Práce s takovými historickými výkresy jako datovým podkladem představuje mimořádnou výzvu, která byla nejen tématem GeoMAP, ale která bude hrát také hlavní roli v budoucích projektech a úkolech.

V průběhu workshopu „Výměna zkušeností na téma vývoje starých těžebních děl při řešení opatření po ukončení těžby a vyhledávání nových zdrojů surovin v Sasku“ představili čtyři přednášející téma vývoje, zpracování a ukládání starých dat z různých úhlů pohledu a umožnili tak účastníkům zlepšit jejich pochopení starých hornických dokumentací jako výchozích dat pro geologické vizualizace a modely (Obrázek 8-6). Tento workshop byl organizován LP (LfULG).

Dalším cílem akce bylo rozšíření a upevnění stávající partnerské sítě kontaktů. Během semináře proběhly následující prezentace:

- H. Michaely (THGA Bochum): Důlně mapová díla – vědomostní základna
- S. Hädecke (LfULG): Hornická dokumentace jako datový základ pro 3D modelaci černouhelného revíru Lugau-Oelsnitz v EU projektu GeoMAP

- S. Hädecke (LfULG): Bergmännische Dokumentationen als Datengrundlage für die 3D-Modellierung des Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenreviers im EU-Projekt GeoMAP
- D. Franke (LfULG): Erschließung von Grubenrissen des Sächsischen Oberbergamtes und von Unterlagen aus dem Sächsischen Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg im Rahmen des Projektes ROHSA 3
- K. Kleeberg & T. Duteloff (LfULG): Von staubigen Akten zum Digitalisat – geologische Daten in ihrer schönsten Form.
- D. Franke (LfULG): Vývoj hornické výkresové dokumentace Saského vrchního hornického úřadu a podoblastí ze Saského státního archivu, hornického archivu ve Freibergu v rámci projektu ROHSA 3
- K. Kleeberg & T. Duteloff (LfULG): Od zaprášených souborů až po digitalizaci - geologická data v té nejkrásnější podobě.



Abbildung 8-6: Vortrag während des Sonder-Workshops. Foto: P. Ernst.

Obrázek 8-6: Přednáška v průběhu speciálního workshopu. Foto: P. Ernst.

1. Fachkonferenz „Anwendung innovativer computergestützter Methoden zur 3D-Untergrunddarstellung sowie Simulations- und Prognosemodelle zu bergbaulichen Senkungsprozessen und Hebungen bei Grundwasserwiederanstieg“ - Freiberg

Am 28.06.2019 fand in Freiberg die erste Fachkonferenz des EU-Projekts GeoMAP zum Thema „Anwendung innovativer computergestützter Methoden zur 3D-Untergrunddarstellung so-

1. Odborná konference „Aplikace inovativních počítačových metod pro trojrozměrné zobrazení podloží a modely simulací a prognóz pohybů hornin při opětovném nárůstu hladiny podzemní vody“ - Freiberg

Dne 28. června 2019 se konala první odborná konference projektu EU GeoMAP na téma „Aplikace inovativních počítačových metod pro trojrozměrné zobrazení podloží a modely simulací a prognóz pohybů hornin při opětovném nárůstu hladiny podzemní vody“

wie Simulations- und Prognosemodelle zu bergbaulichen Senkungsprozessen und Hebungen bei Grundwasserwiederanstieg“ statt. Die Konferenz, welche vor allem Experten und Fachanwender ansprechen sollte, wurde vom PP1a Institut für Geotechnik (TU Bergakademie Freiberg) organisiert. Im Zuge der Tagung wurde u.a. über computergestützte Untersuchungen und Simulationen von Bodenbewegungen bei einem Grundwasserwiederanstieg in Bergbaufolgelandschaften diskutiert. Die kostenlose Konferenz fand im Tagungszentrum „Deutsches Brennstoffinstitut Freiberg“ statt und sollte dem Wissensaustausch von verschiedenen Experten dienen. Auf der Konferenz wurden folgende Präsentationen gehalten:

- G. Meier (Ingenieurbüro Dr. G. Meier GmbH): Sicherheitsrelevante Einflüsse von Oberflächen-, Grund- und Grubenwässern auf Altbergbau
- K.-H. Löbel (TU Bergakademie Freiberg): Räumliche und zeitliche Analyse der während der Abbauphase im Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenrevier vermessungstechnisch erfassten vertikalen Bodenbewegungen
- A. John (TU Bergakademie Freiberg): Bewertung von Unsicher-

ve Freibergu. Konferenci zaměřenou především na odborníky a odborné uživatele uspořádal Institut geotechniky PP1a (TU Báňská akademie Freiberg). V průběhu konference byly mimo jiné diskutovány počítačově podporované výzkumy a simulace pohybů půdy v případě nárůstu hladiny podzemní vody v post-těžební krajině. Bezplatná konference se konala v konferenčním centru „German Fuel Institute Freiberg“ a měla usnadnit výměnu znalostí mezi různými odborníky. Na konferenci zazněly následující prezentace:

- G. Meier (společnost Ingenieurbüro Dr. G. Meier GmbH): Bezpečnostní vlivy povrchové, podzemní a důlní vody na starou těžbu
- K.- H. Löbel (TU Báňská akademie Freiberg): Prostorová a časová analýza vertikálních pohybů půdy zaznamenaných během fáze těžby v černouhelném revíru Lugau-Oelsnitzer
- John (TU Báňská akademie Freiberg): Posouzení nejistot vertikálních pohybů země zjištěných radarovou interferometrií v důsledku nárůstu hladiny důlní vody v bývalé oblasti těžby uhlí Oelsnitz / E.
- S. Hädecke (LfULG): GeoMAP - představení projektu: Nástroje pro modelování, vizualizaci a prognózy pro znázornění důsledků

heiten radarinterferometrisch detektierter vertikaler Bodenbewegungen in Folge des Grubenwasseranstiegs im ehemaligen Steinkohlenrevier Oelsnitz/E.

- S. Hädecke (LfULG): GeoMAP – Projektvorstellung: Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen
- T. Kolbe (TU Bergakademie Freiberg): „Modellierung von Grundwasserfließwegen und -verweilzeiten – Relevanz für Altbergbaugebiete“
- M. Schlegel (G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH): Prognose der Mineralisation der Grubenwässer bei der Flutung des ehemaligen Bergwerks Ost der RAG
- T. Kessler (DMT GmbH & Co. KG): Numerische Ansätze für die Diskretisierung und hydraulische Simulation von untertägigen Bergwerksflutungen
- H. Konietzky (TU Bergakademie Freiberg): Überblick über numerische Berechnungsverfahren in der Geotechnik
- G. Lüttschwager (TU Bergakademie Freiberg): DEM zur Simulation von Folgen von Grundwasserän-

tžby a potenciálu opětovného použití

- T. Kolbe (TU Bářská akademie Freiberg): „Modelování směřů proudění podzemních vod a - doby prodlevy - význam pro staré těžební oblasti“
- M. Schlegel (společnost G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH): Prognóza mineralizace důlní vody při zaplavení bývalého dolu Ost - RAG
- T. Kessler (DMT GmbH & Co. KG): Numerické postupy pro diskretizaci a hydraulickou simulaci podzemních záplav
- H. Konietzky (TU Bářská akademie Freiberg): Přehled numerických výpočtových metod v geotechnice
- G. Lüttschwager (TU Bářská akademie Freiberg): DEM pro simulaci důsledků změn podzemních vod v post-těžební krajině na příkladu černouhelné oblasti Lugau / Oelsnitz
- R. Grosser (Lausitz Energie Bergbau AG): Stav prostorového modelování náklonu jako základu pro geotechnická hodnocení v povrchovém dole LEAG v Nochtenu.

Na přednáškách byli seznámeni řžní zástupci vědy a řřumyslu se současným stavem numerických simulací pohybů půdy vyvolaných těžbou (obrázky 8-7). Zvláštní pozornost byla

derungen in Bergbaufolgelandschaften am Beispiel des Steinkohlenreviers Lugau/Oelsnitz

- R. Grosser (Lausitz Energie Bergbau AG): Stand der 3D-Kippenmodellierung als Grundlage für geotechnische Bewertungen im LEAG-Tagebau Nochten.

In den Vorträgen wurden den verschiedenen Vertreter*Innen aus Wissenschaft und Wirtschaft der aktuelle Stand von numerischen Simulationen von bergbauinduzierten Bodenbewegungen präsentiert (Abbildung 8-7). Ein besonderer Fokus lag dabei auf dem Grundwasseranstieg nach Stilllegung von bergbaulichen Anlagen.

Die Vortragenden haben weiterhin jeweils einen Beitrag verfasst, welcher auf der Webseite der technischen Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg als umfassender Konferenzband in deutscher Sprache heruntergeladen werden kann <https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/1-konferenz-geomap.html>.

věnována nárůstu hladiny podzemních vod po odstavení těžebních zařízení.

Každý z přednášejících napsal zároveň příspěvek, který si lze stáhnout v němčině z webových stránek technické termodynamiky TU Báňské akademie Freiberg jako komplexní konferenční svazek <https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/1-konferenz-geomap.html>.



Abbildung 8-7: Projekt-Mitarbeiterin des Leadpartners hält einen Vortrag über die Visualisierung und Modellierung von Bergbaufolgen. Foto: S. Pose.

Obrázek 8-7: Projektová spolupracovnice hlavního partnera má přednášku o vizualizaci a modelování důsledků těžby. Foto: S. Pose.

2. Fachkonferenz „Geothermisches Potenzial von Grubenwässern und Herausforderungen der Anlagentechnik“ - Freiberg

Am 26.11.2019 fand in Freiberg die 2. Fachkonferenz des Projektes GeoMAP statt. Titel der durch den Lehrstuhl für technische Thermodynamik (PP1b) organisierten Veranstaltung war „Geothermisches Potenzial von Grubenwässern und Herausforderungen der Anlagentechnik“. Während der Konferenz wurde, neben Fachvorträgen und

2. Odborná konference „Geotermální potenciál důlní vody a výzvy systémových technologií“ - Freiberg

Dne 26.11.2019 se konala ve Freibergu 2. odborná konference projektu GeoMAP. Název akce pořádané předsedou technické termodynamiky (PP1b) zněl „Geotermální potenciál důlní vody a výzvy systémových technologií“. V průběhu konference se kromě odborných přednášek a aktuálních výsledků projektů zabývajících se důlní vodou věnovala

aktuellen Projektergebnissen zum Umgang mit Bergbauwässern, ein besonderer Blick auf die energetische Nutzung von Grubenwässern geworfen. Dabei wurden Nutzungsmöglichkeiten sowie die Rahmenbedingungen und Anforderungen für eine erfolgreiche Nutzung von Bergwerkswässern diskutiert. Folgende Vortragende traten auf:

- B. Merkel (TU Bergakademie Freiberg): Chemisches und thermisches Potential von Bergbauwässern
- R. Kahnt (G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH): Erfahrungen von G.E.O.S. bei der geothermischen Grubenwassernutzung und im Bereich der Tiefen Geothermie
- Arab (TU Bergakademie Freiberg): Verhinderung von Calcitablagerungen bei der Tiefengeothermie
- M. Seidl (Palivový kombinát Ústí, státní podnik): Aufbau und Nutzung eines biotechnologischen Systems
- K. Hofmann (LfULG): Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen und Grubenwasser – geothermische Nutzungspotentiale in Sachsen und deren Besonderheiten
- P. Ernst (LfULG): Projektvorstellung GeoMAP

zvláštní pozornost také energetickému využití důlní vody. Diskutována byla možná použití i rámcové podmínky a požadavky na úspěšné využívání důlní vody. Zúčastnili se následující přednášející:

- B. Merkel (TU Báňská akademie Freiberg): Chemický a tepelný potenciál důlních vod
- R. Kahnt (G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH): Zkušenosti z G.E.O.S. při využívání geotermální důlní vody a v oblasti hluboké geotermální energie
- Arab (TU Báňská akademie Freiberg): Prevence kalcitových usazenin v hluboké geotermii
- M. Seidl (Palivový kombinát Ústí, státní podnik): Vývoj a využití biotechnologického systému
- K. Hofmann (LfULG): Geotermální sondy, tepelná čerpadla podzemní vody a důlní voda - využití geotermálního potenciálu v Sasku a jejich specifické vlastnosti
- P. Ernst (LfULG): Prezentace projektu GeoMAP
- S. Pose (TU Báňská akademie Freiberg): Zkušební stanoviště výměníku tepla pro in-situ průzkum potenciálních geotermálních poloh
- M. Klempa (TU Ostrava): Výzkumné činnosti (geofyzika, vrty atd.) v post-těžebních oblastech

- S. Pose (TU Bergakademie Freiberg): Wärmeübertragerversuchsstand zur In-Situ-Untersuchung von potentiellen Geothermie-Standorten
- M. Klempa (TU Ostrava): Forschungsaktivitäten (Geophysik, Bohrungen, usw.) in den Bereichen des Nachbergbaus
- L. Oppelt (TU Bergakademie Freiberg): Grubenwassergeothermieanlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf
- N. Hoth (TU Bergakademie Freiberg): Chemismus der Ablagerungsbildung bei der Grubenwassernutzung
- J. Šancer (TU Ostrava): Nutzungsmöglichkeiten von an die Oberfläche gepumpten Grubenwasser in OKD (Ostrava - Karvina Coal District)
- R. Schiffer (Ruhr-Universität Bochum): Möglichkeiten der Um- und Nachnutzung bergbaulicher Infrastruktur durch energetische Nutzung des Grubenwassers.
- L. Oppelt (TU Bányászat és Géotechnika): Geotermális rendszerek földalatti vizében Freibergben és Ehrenfriedersdorfban
- N. Hoth (TU Bányászat és Géotechnika): Kémia a széntesítés során a földalatti víz felhasználásánál
- J. Šancer (TU Ostrava): Földalatti víz használatának lehetőségei a felszínre a OKD (Ostrava - Karvina - kőszénbányászati terület)
- R. Schiffer (Ruhr-Universität Bochum): Földalatti víz használatának lehetőségei a kőszénbányászati infrastruktúra energetikai felhasználásánál

Účastníci a účastnice, kteří se setkali na konferenci, pracují na úřadech, v podnicích a výzkumech v regionech Krušných hor, Porúří a severních Čech (obrázek 8-8). Tím se mezi více než 50 aktéry vytvořila živá výměna informací týkajících se post-těžebních úkolů a možností energetického využití. Další dojmy z konference i z německo-českého sborníku jsou k dispozici na webových stránkách konference:

geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/2-fachkonferenz-am-26-11-19.html

Die Teilnehmer*Innen der Konferenz kamen dabei aus Behörden, der Wirtschaft und der Forschung aus den Regionen Erzgebirge, Ruhrgebiet und Nordböhmen zusammen (Abbildung 8-8). Dadurch wurde ein reger Austausch zwischen den über 50 Akteuren bezüglich den Aufgaben des Nachbergbaus und den Möglichkeiten der

energetischen Nutzung geschaffen. Weitere Impressionen der Konferenz sowie der deutsch-tschechische Tagungsband sind auf der Webseite der Konferenz abrufbar:

geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/2-fachkonferenz-am-26-11-19.html.



Abbildung 8-8: An der 2. Fachkonferenz haben Vertreter aus verschiedenen Teilen von Deutschland und aus Tschechien teilgenommen um ihr Wissen bezüglich Nachbergbau und geothermischer Nutzung in diesen Gebieten zu erweitern und zu teilen. Foto: L. Oppelt.

Obrázek 8-8: 2. Odborné konference se zúčastnili zástupci z různých částí Německa a České republiky, účelem konference bylo rozšíření a sdílení svých znalostí o post-těžbě a geotermálním využití v těchto oblastech. Foto: L. Oppelt.

3. Konferenz „Methoden der Untersuchung, Modellierung und Umweltüberwachung bei der Sanierung und Rekultivierung im Moster Braunkohlenrevier“ - online

Die dritte Fachkonferenz wurde vom PP2 (TU Ostrava) organisiert. Sie fand aufgrund der anhaltenden COVID-19-Pandemie als reine Online-Veranstaltung am 22.01.2021 statt. Unter dem Titel „Methoden zur Untersuchung, Modellierung und Umweltüberwachung bei der Sanierung und Rekultivierung im Moster Braunkohlenrevier“ trugen einerseits die Projektmitglieder ihren aktuellen Arbeitsstand vor, andererseits präsentierten verschiedene Mitarbeiter der TU Ostrava den jetzigen Erkundungsstand im Braunkohlenrevier. Während der Konferenz wurden folgende Vorträge gehalten:

- M. Ličbínská (TU Ostrava): Prognose der Grundwasserbeschaffenheit bergbaubeeinflusster, oberflächennaher Grundwasserleiter
- S. Hädecke (LfULG): Kritische Betrachtung der Ausgangsdaten für die geologische 3D-Modellierung von Lugau/Oelsnitz.
- J. Mališ (TU Ostrava): Grundlage für die hydrologische Rekultivierung von Bergbaustandorten
- L. Oppelt (TU Freiberg): Stillgelegte Bergwerke als regenerative

3. odborná konference GeoMAP „Metody průzkumu, modelování a monitoringu životního prostředí během sanace a rekultivace v Mosteckém hnědouhelném revíru“ - online

Třetí odbornou konferenci pořádal PP2 (TU Ostrava). Kvůli probíhající pandemii COVID-19 se konala tato událost čistě online dne 22. ledna 2021. Pod názvem „Metody průzkumu, modelování a monitoringu životního prostředí během sanace a re-kultivace v Mosteckém hnědouhelném revíru“ představili členové projektu současný stav prací na straně jedné a různí spolupracovníci TU Ostrava představili současný stav průzkumu v hnědouhelné těžební oblasti na straně druhé. Během konference zazněly následující přednášky:

- M. Ličbínská (TU Ostrava): Prognóza kvality podzemní vody ovlivněná těžbou, podzemní vodonosné vrstvy
- S. Hädecke (LfULG): Kritická úvaha o počátečních datech pro geologické prostorové modelování v oblasti Lugau / Oelsnitz.
- J. Mališ (TU Ostrava): Základ pro hydrologickou rekultivaci těžebních lokalit
- L. Oppelt (TU Freiberg): Nevyužívané doly jako regenerativní zdroj tepla v Krušných horách a severních Čechách

Wärmequelle im Erzgebirge und Nordböhmen

- F. Weber (TU Freiberg): Simulation von Geländeanhebungen im Zuge des Grundwasseranstiegs im Altbergbaugebiet Lugau/Oelsnitz
- J. Šancer (TU Ostrava): Probleme und Gefahren durch spontane Entzündungen von Kohlehalden.

- F. Weber (TU Freiberg): Simulace pohybu povrchu v průběhu nárůstu hladiny podzemní vody ve staré těžební oblasti Lugau / Oelsnitz
- J. Šancer (TU Ostrava): Problémy a nebezpečí samovolného vznícení uhelných hald

Abschlusskonferenz „Dynamik und Prozessmodellierung der Grubenflutung in Bergbaufolgelandschaften Sachsens und Nordböhmens“ – online

Die GeoMAP-Abschlusskonferenz zum Thema „Dynamik und Prozessmodellierung der Grubenflutung in Bergbaufolgelandschaften Sachsens und Nordböhmens“ fand am 23.04.2021 online mit rund 60 Teilnehmern aus Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft statt. Zahlreiche Zuhörer aus den Bergbauregionen, welche Gegenstand der Untersuchungen in GeoMAP sind, waren zugeschaltet. Die Veranstaltung wurde in mehrere thematische Vortragsblöcke unterteilt, um die verschiedenen Aspekte des weitreichenden Themas zu beleuchten.

Die Konferenz wurde von Mathias Hübschmann, Leiter des Referates Hydrogeologie des LfULG und von Herrn Bürgermeister Bernd Birkigt aus Oelsnitz/Erzgebirge eröffnet. Nach einer Kurzvorstellung des EU-Projektes GeoMAP folgten drei Vorträge rund

Závěrečná konference „Dynamika a modelace procesu zaplavení dolu v krajinách zatížených důlní činností v Sasku a severních Čechách“ – online

Závěrečná konference GeoMAP na téma „Dynamika a modelace procesu zaplavení dolu v krajinách zatížených důlní činností v Sasku a severních Čechách“ se konala online dne 23. dubna 2021 za účasti přibližně 60 účastníků z oblasti správy, vědy a podnikání. Přítomni byli mnozí posluchači z těžebních oblastí, které jsou předmětem průzkumu GeoMAP. Aby byly osvětleny různé aspekty rozsáhlého tématu, byla akce rozdělena do několika tematických přednáškových bloků.

Konferenci zahájili Mathias Hübschmann, vedoucí oddělení hydrogeologie LfULG, a starosta Bernd Birkigt z Oelsnitz / Erzgebirge. Po krátké prezentaci projektu EU GeoMAP následovaly tři přednášky na téma zaplavení dolů v bývalých těžebních oblastech Sársko-Lotrinsko (Ministerstvo

um die Grubenflutung in den ehemaligen Bergbaurevieren Saarland-Lothringen (Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Saarland), Ruhrgebiet (RAG AG) und Königstein (Wismut GmbH). Anschließend folgten die Ergebnispräsentationen der GeoMAP-Projektpartner: Institut für Geotechnik der TU Freiberg, Institut für saubere Technologien im Bergbau und der Verwertung von Energierohstoffen der TU Ostrava, Referat Hydrogeologie des LfULG und Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der TU Freiberg.

Es wurden folgende Fachvorträge gehalten:

- P. Ernst (LfULG): Vorstellung GeoMAP
- T. Walter (Ministerium für Umwelt u. Verbraucherschutz Saarland): Grenzüberschreitende Überwachung des Grubenwasseranstiegs im ehemaligen saarländisch lothringischen Steinkohlerevier
- M. Drobniowski (RAG Ruhrgebiet): Erfahrungen aus dem Wasseranstieg nach Stilllegung des Steinkohlebergbaus der RAG AG
- T. Metschies (Wismut Königstein): Erfahrungen aus der modelltechnischen Begleitung der Flutung der ehemaligen Urangrube Königstein

pro životní prostředí a ochranu spotřebitele, Sársko), Porúří (RAG AG) a Königstein (Wismut GmbH). Následně přišly na řadu prezentace výsledků partnerů projektu GeoMAP: Institut geotechniky TU Freiberg, Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin TU Ostrava, Referát hydrogeologie LfULG a Institut tepelného inženýrství a termodynamiky TU Freiberg.

Konaly se následující odborné přednášky:

- P. Ernst (LfULG): Prezentace GeoMAP
- T. Walter (Ministerstvo životního prostředí a ochrany spotřebitele v Sársku): Přeshraniční sledování vzestupu hladiny důlní vody v bývalém uhelném dole v Sársku a Lotrinsku
- M. Drobniowski (RAG Ruhrgebiet): Zkušenosti z vzestupu hladiny vody po zastavení černouhelné těžby společnosti RAG AG
- T. Metschies (Wismut Königstein): Zkušenosti z modelové technické podpory zaplavení bývalého uranového dolu Königstein
- F. Weber (TUBAF): Numerická simulace vzestupu terénu nad zatopenými uhelnými doly v místě starého důlního díla na příkladu bývalého černouhelného revíru Lugau Oelsnitz

- F. Weber (TUBAF): Numerische Simulation von Hebungen über gefluteten Steinkohlebergwerken des Altbergbaus am Beispiel des ehem. Steinkohlereviere Lugau Oelsnitz
- J. Mališ (TU Ostrava): Nutzung ausgewählter Monitoring Methoden unter Feldbedingungen
- S. Hädecke (LfULG): 3D-Untergrundmodell von Lugau /Oelsnitz Neubewertung und Aktualisierung bezogen auf aktuelle Fragestellungen des Nachbergbaus
- L. Oppelt (TUBAF): Grubenwassergeothermie als innovative Energiequelle Bergbaufolgegebiete positiv nutzen.
- J. Mališ (TU Ostrava): Využití vybraných monitorovacích metod v polních podmínkách
- S. Hädecke (LfULG): Prostorový model podzemí oblasti Lugau / Oelsnitz - přehodnocení a aktualizace na základě aktuálních post-těžebních problémů
- L. Oppelt (TUBAF): Využití geotermální energie dolu jako inovativního zdroj energie v post-těžebních oblastech.

Den Abschluss der Konferenz bildete eine Podiumsdiskussion unter dem Motto: „Strukturwandel aufgreifen – In bergbaulich stark beeinflussten Regionen“. Teilnehmer waren leitende Akteure nachbergbaulicher Gestaltung aus Wissenschaft und Verwaltung: Bürgermeister Bernd Birkigt (Oelsnitz/Erzgebirge), Tobias Dressler (OBA, Abteilungsleiter Untertagebergbau), Dr. Jindřich Šancer (TU Ostrava, Leiter des Instituts für saubere Technologien im Bergbau und der Verwertung von Energierohstoffen der TU Ostrava), Dr. Thomas Grab (TUBAF, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Leiter der Arbeitsgruppe

Konferenz skončila panelovou diskusí na téma: "Přijímání strukturálních změn - v regionech silně ovlivněných těžbou". Účastníci byli přední aktéři post-těžebního designu z oblasti vědy a správy: Starosta Bernd Birkigt (Oelsnitz / Erzgebirge), Tobias Dressler (OBA, vedoucí oddělení podzemní těžby), Dr. Jindřich Šancer (TU Ostrava, vedoucí Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin TU Ostrava), Dr. Thomas Grab (TUBAF, Institut tepelného inženýrství a termodynamiky, vedoucí pracovní skupiny procesního materiálu a dat) a Dr. Frank Fischer (LfULG, vedoucí oddělení geologie). Diskuse vyústila v dohodu účastníků o další úzké spolupráci a odborné výměně s ohledem na zvládnání důsledků těžby a následné využití těžebních oblastí v Sasku a severních Čechách.

Verfahrenstechnische Stoff- und Prozessdaten) und Dr. Frank Fischer (LfULG, Abteilungsleiter Geologie). Im Ergebnis der Podiumsdiskussion verständigten sich die Teilnehmer auf die weitere enge Zusammenarbeit und den fachlichen Austausch in Hinblick auf die Bewältigung der Bergbaufolgen und die Nachnutzung der Bergbaureviere Sachsens und Nordböhmens.

9. Netzwerkarbeit im Projekt GeoMAP

9. Síťování v projektu GeoMAP

Autoren | Autoři: Hädecke, S.¹, Rommel, A.¹, Weber, F.², Oppelt, L.³, Mališ, J.⁴

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

²TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

³TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik

⁴Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

9.1. Ergebnisse der GeoMAP-Projektarbeit im nationalen und internationalen Kontext

Die Ziele von GeoMAP umfassten neben dem Erfahrungsaustausch zu geowissenschaftlichen Fragestellungen in Bergbaugebieten Sachsens und Tschechiens auch die Unterstützung der Bergbauregionen durch neue Lösungsansätze zur Sanierung, die Schaffung wirtschaftlicher Mehrwerte durch Nachnutzung sowie die Erarbeitung arbeitsmarktrelevanter Fachunterlagen. Weiterhin sollten den Kommunen, Behörden und der Öffentlichkeit Informationen über die Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenziale in den Revieren zur Verfügung gestellt werden und ein Netzwerk zur Lösung der Langzeitaufgaben in den Bergbauregionen gebildet werden.

Die Umsetzung dieser Ziele und die nachhaltigen Ergebnisse der Projektarbeit werden in diesem Kapitel zusammenfassend dargestellt.

9.1. Výsledky projektových prací GeoMAP v národním a mezinárodním kontextu

Mezi cíle projektu GeoMAP patřila výměna zkušeností s geovědními problémy v těžebních oblastech v Sasku a Česku a také podpora těžebních regionů prostřednictvím nových přístupů k řešení pro renovaci, vytváření ekonomické přidané hodnoty prostřednictvím opětovného využití, jakož i vývoj odborných dokumentů relevantních pro trh práce. Nadále by měly být obcím, úřadům a veřejnosti poskytovány informace o důsledcích těžby a potenciálu těžebních oblastí pro následné využití a měla by být vytvořena síť pro řešení dlouhodobých úkolů v těžebních regionech.

Realizace těchto cílů a udržitelné výsledky projektové práce jsou shrnuty v této kapitole.

Projektaktivitäten

Die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern erfolgte unter anderem im Zuge der Vorbereitung von Veranstaltungen und der Anfertigung der unterschiedlichen Anschauungsobjekte, die jeder Projektpartner für seine Modellregion und seinen Themenschwerpunkt durchgeführt bzw. ausgearbeitet hat. Die Präsentation dieser Themen im Rahmen von Konferenzen und Workshops war ein wesentlicher Beitrag zum Erfahrungsaustausch, welcher auch aus den daraus resultierenden Begleitbänden hervorgeht. Diese fassen die Informationen und Erkenntnisse der Veranstaltungen zusammen und sind für die weitere fachliche Arbeit online über die Projekthomepage <http://www.geomap.sachsen.de> verfügbar.

Eine Zusammenfassung aller öffentlichen Veranstaltungen, die im Rahmen von GeoMAP durchgeführt wurden, ist in dem Kapitel 8 Workshops und Fachkonferenzen zu finden.

Fachkonferenzen

Die Erweiterung der partnerinternen Kenntnisse wurde durch Einbezug von Fachexperten in öffentlich ausgerichteten Fachkonferenzen realisiert. Diese dienten gleichzeitig der öffentlichkeitswirksamen Darstellung der Erfahrungen der Projektpartner zu

Aktivität projektu

Spolupráce mezi partnery projektu probíhala mimo jiné při přípravě akcí a realizaci různých demonstračních objektů, které uskutečnil nebo zpracoval každý projektový partner pro svůj modelový region a své zaměření. Prezentace těchto témat v rámci konferencí a workshopů byla zásadním příspěvkem k výměně zkušeností, což je patrné i z doprovodných sborníků. Ty shrnují informace a komentáře k událostem a jsou k dispozici online pro další technické práce prostřednictvím domovské stránky projektu www.geomap.sachsen.de.

Souhrn všech veřejných akcí, které se uskutečnily v rámci GeoMAP, najdete v kapitole 8 Workshopy a odborné konference.

Odborné konference

Díky začlenění technických odborníků do veřejně organizovaných odborných konferencí došlo k rozšíření interních znalostí partnerů. Konference sloužily zároveň k prezentaci zkušeností pro-

den angewendeten geowissenschaftlichen Methoden.

Anschauungsobjekte

Je Projektpartner wurde im Rahmen von GeoMAP ein Konzept entwickelt und realisiert, in dem die geplanten Inhalte und der technische Aufbau eines Anschauungsobjektes dargestellt sind. Grundlage bildeten dabei jeweils der Arbeitsschwerpunkt im Projekt und die konkreten Daten der Projektgebiete:

- Der LP und PP1a erarbeiteten gemeinsam Inhalte für die Medienstation „Bergbaufolgen“, welche als Teil der Dauerausstellung des Bergbaumuseums Oelsnitz/Erzgebirge gezeigt wird. Dabei waren die 3D-Visualisierung des geologischen Untergrundes, des Grubengebäudes mit der Überwachung des Flutungsstandes durch Grubenwassermessstellen sowie der Hebungs- und Senkungsgebiete und des zugehörigen felsmechanischen Verhaltens im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz konkrete Inhalte (siehe Kapitel 5).
- PP1b entwickelte einen transportablen Versuchsstand, welcher den typischen Aufbau einer Grubenwassergeothermieanlage im Labormaßstab nachbildet und den Test von Grubenwässern vor Ort

jektivých partnerů s geovědními metodami používanými způsobem, který byl efektivní pro veřejnost.

Demonstrační objekty

Pro každého projektového partnera byl v rámci GeoMAP vyvinut a implementován koncept, ve kterém je představen plánovaný obsah a technická struktura demonstračního objektu. Základem pro to bylo zaměření práce na projektu a konkrétní údaje o projektových oblastech:

- LP a PP1a vyvinuli společně obsah pro mediální stanici „Důsledky těžby“, která je prezentována jako součást stálé expozice Hornického muzea Oelsnitz / Erzgebirge. Konkrétním obsahem byla 3D vizualizace geologického podloží důlního díla s monitorováním úrovně jeho zaplavení důlní vodou pomocí měřicích bodů, stejně jako oblasti terénních deformací/zdvihů a poklesů souvisejících s hornicko-mechanickým chováním v uhlém revíru Lugau / Oelsnitz (viz Kapitola 5).
- PP1b vyvinul mobilní testovací přístroj, který simuluje typickou strukturu geotermálního systému důlní vody v laboratorním měřítku a umožňuje testování důlní vody na místě a může být použit jako ukázkový objekt na workshopech a konferencích (Kapitola 6). Lze

ermöglicht sowie als Anschauungsobjekt bei Workshops und Konferenzen zum Einsatz kommen kann (Kapitel 6). Hier konnten Synergieeffekte mit dem themenverwandten Projekt VODAMIN II genutzt werden, in dem zugleich auch PP1b und PP2 mitwirkten.

- PP2 errichtete ein Feldlaboratorium in Mariánské Radčice im Braunkohlenrevier Nordböhmen. Dieses veranschaulicht die Darstellung der Untergrund- und Grubenverhältnisse, der geowissenschaftlichen Methoden zur Untersuchung, Modellierung und Überwachung von Grund- und Grubenwasserstand, Rutschungen, Rekultivierung und Revitalisierung. Das Labor dient nicht nur der Ausbildung von Studenten der Technischen Universität Ostrava, es soll auch für Weiterbildungen, Konferenzen und Workshops für Fachanwender aus Wirtschaft und Verwaltung sowie für öffentliche Veranstaltungen genutzt werden. Weitere Informationen zu diesem Feldlabor können in Kapitel 7 nachgelesen werden.

zde využít synergické efekty se souvisejícím projektem VODAMIN II, na němž se také podílely PP1b a PP2.

- PP2 zřídila polní laboratoř v Mariánských Radčicích v severočeské hnědouhelné hornické oblasti. Laboratoř pomáhá při zkoumání podpovrchových a důlních podmínek, při geovědních metodách výzkumu, modelování a monitorování hladin podzemní a důlní vody, sesuvů půd, rekultivaci a revitalizaci. Laboratoř neslouží pouze studentům Vysoké školy báňské v Ostravě, slouží také ke školení, konferencím a workshopům pro profesionální uživatele ze sektoru podnikání a státní správy, stejně jako pro veřejné akce. Další informace o této polní laboratoři naleznete v kapitole 7.

9.2. Netzwerk „GeoMAP“ als Plattform der Kooperationspartner und beteiligter Institutionen

Ein bedeutendes Anliegen des Projektes war die Bildung eines Netzwerkes, welches zur Lösung der Langzeitaufgaben in den verschiedenen Bergbaurevieren beitragen sollte. Dieses Netzwerk hatte zum einen das Ziel, die im Projekt für die Modellregionen erworbenen Erkenntnisse und Erfahrungen für Akteure der Wissenschaft, Bildung und Wirtschaft verfügbar zu machen. Zum anderen sollten nicht nur die Anwender selbst, sondern auch die vom Altbergbau geprägten Regionen im Modellgebiet GeoMAP und darüber hinaus unterstützt werden. Die Organisation der Veranstaltungen, die Abstimmung der Öffentlichkeitsarbeit sowie die Netzwerkarbeit erfolgten im Rahmen der quartalsweise stattfindenden Projekttreffen. Dadurch war ein ständiger Kontakt der Projektpartner gegeben. Über den gesamten Projektzeitraum (2019 bis 2021) wurden darüber hinaus von allen Projektpartnern Kooperationen geknüpft, deren Inhalt und Ergebnisse nachfolgend kurz dargestellt werden.

9.2. Sít „GeoMAP“ jako platforma pro spolupracující partnery a zúčastněné instituce

Hlavním zájmem projektu bylo vytvoření sítě, která by měla přispět k řešení dlouhodobých úkolů v různých těžebních oblastech. Na jedné straně měla tato síť za cíl zpřístupnit zúčastněným stranám v oblasti vědy, vzdělávání a podnikání znalosti a zkušenosti získané v projektu pro modelové regiony. Na druhou stranu by měli být podporováni nejen samotní uživatelé, ale také oblasti formované historickou a ukončenou těžbou v modelové oblasti GeoMAP a dále. Organizace akcí, koordinace komunikace s veřejností a vytváření sítě proběhlo v rámci čtvrtletních projektových setkání. Tím byl mezi projektovými partnery zajištěn neustálý kontakt. Během celého projektového období (2019 až 2021) navázali také všichni projektoví partneři spolupráci, jejíž obsah a výsledky jsou stručně uvedeny níže.

Akademisches Kooperationsnetzwerk

Ein Ziel der Netzwerkarbeit war der Aufbau eines akademischen Kooperationsnetzwerkes zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der Hochschule für Bergbau - TU Ostrava, einschließlich der Organisation zukünftiger Studentenaustauschprogramme. Des Weiteren wurde ein Zusatzzertifikat „Ingenieur/-in für erneuerbare Energien und Ressourcenmanagement“ für Studierende erarbeitet, welches die Ausbildung von Ingenieur*Innen im Bereich der erneuerbaren Energien und des Ressourcenmanagements stärkt und durch drei der weltweit größten Fachverbände im Bereich Erneuerbare Energien und Ressourcenmanagement unterstützt wird (siehe Kapitel 6).

Kommunales Netzwerk

Die Erweiterung und Stärkung des Netzwerkes betroffener Kommunen unter Beteiligung von Fachbehörden und Bergbausanierungsgesellschaften war ein weiterer Bestandteil der Netzwerkarbeit im Projekt GeoMAP. Einige Akteure, die zu diesem Netzwerk beitragen sind – neben den Projektpartnern – FLOEZ+ (eine Initiative der Städte und Gemeinden der ehemaligen Steinkohlenbergbauregion Zwickau-Lugau-Oelsnitz), das Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge, das

Akademická kooperační síť

Jedním z cílů síťování bylo zřízení akademické kooperační sítě mezi TU Báňskou akademií ve Freibergu a Vysokou školou báňskou - TU Ostrava, včetně organizace budoucích studentských výměnných programů. Dále byl pro studenty vyvinut další certifikát „Inženýr obnovitelné energie a správy zdrojů“, který posiluje školení techniků v oblasti obnovitelných energií a správy zdrojů a je podporován třemi největšími světovými profesními asociacemi v oblasti obnovitelných zdrojů energie a správy zdrojů (viz kapitola 6).

Lokální síť

Další součástí síťování v projektu GeoMAP bylo rozšíření a posílení sítě dotčených obcí za účasti odborných orgánů a společností zabývajících se rehabilitací těžby. Někteří aktéři, kteří do této sítě přispívají, jsou - kromě projektových partnerů - FLOEZ + (iniciativa měst a obcí bývalé uhelné těžební oblasti Zwickau-Lugau-Oelsnitz), Hornické muzeum Oelsnitz / Erzgebirge, Saský báňský úřad, Universita v Zittau / Görlitz se svým Institutem pro vývoj procesů, výzkum rašeliny a

Sächsische Oberbergamt, die Hochschule Zittau/Görlitz mit ihrem Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung und der Staatsbetrieb Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ) (Brennstoffkombinat PKÚ). Im Zuge der Zusammenarbeit mit diesen und weiteren Institutionen fand ein reger, fachlicher Austausch während Workshops und Konferenzen sowie die gegenseitige Repräsentation bei Fachgesprächen statt.

Zahlreiche Beiträge externer Referenten auf den GeoMAP-Fachkonferenzen und Workshops zeugten weiterhin von einem erfolgreichen Erfahrungsaustausch im Zuge der Projektaktivitäten. Überdies wurde GeoMAP von den Projektpartnern auch auf zahlreichen externen Fachkonferenzen vertreten, wie dem Jahrestreffen der ProcessNet Fachgruppe Wärme- und Stoffübertragung am 24.02.2021. Auf der 11. Bergbaukonferenz der FLOEZ+ Region am 08.10.2020 stellten sich die Projektpartner ebenfalls mit Posterbeiträgen vor und konnten hierdurch mit kommunalen Vertretern und dem Fachpublikum Kontakte knüpfen.

Zwischen dem Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge und dem Leadpartner LfULG wurde ein Kooperationsvertrag geschlossen, der die weitere öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit und den Austausch von Informationen

přírodních produktů a státní podnik Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ). V průběhu spolupráce s těmito a dalšími institucemi proběhla během workshopů a konferencí živá profesionální výměna stejně jako vzájemná reprezentace při odborných diskuzích.

Četné příspěvky externích účastníků na odborných konferencích a workshopech GeoMAP nadále svědčí o úspěšné výměně zkušeností v průběhu projektových aktivit. Projekt GeoMAP byl projektovými partnery navíc zastoupen na mnoha externích odborných konferencích, například na výročním zasedání na přenos tepla a hmoty specializované skupiny ProcessNet, které se konalo dne 24. února 2021. Na 11. těžařské konferenci FLOEZ+ Region, která se konala dne 8. října 2020, se projektoví partneři představili také příspěvky ve formě plakátů a mohli tak navázat kontakty s místními zástupci a odborným publikem.

Mezi Hornickým muzeem Oelsnitz / Erzgebirge a hlavním partnerem LfULG, byla uzavřena dohoda o spolupráci, která se zabývala další účinnou spoluprací a výměnou informací a údajů. Zamýšlená budoucí kooperace (viz následující část) s komunálními institucemi modelových regionů GeoMAP nadále svědčí o udržitelném vytváření sítě v průběhu projektových prací.

und Daten zum Inhalt hatte. Die beabsichtigten zukünftigen Kooperationen (siehe folgender Abschnitt) mit den kommunalen Einrichtungen der Geo-MAP-Modellregionen zeugen weiterhin von der nachhaltigen Schaffung eines Netzwerkes im Zuge der Projektarbeit.

Ein wichtiger Partner zur Umsetzung des Feldlabors war für den PP2 der Staatsbetrieb Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ). Dieser stellte nicht nur die Räumlichkeit für das Schulungszimmer zur Verfügung, in denen auch Konferenzen und Workshops stattfinden sollen, sondern ermöglicht auch das umfangreiche, forschungsrelevante Monitoring in vom Bergbau beeinträchtigten Gebieten. Weiterhin stand der PP2 mit unterschiedlichen Institutionen und Unternehmen in Kontakt, die sich sowohl an der Organisation von Seminaren (AZ Consult spol. s r. o.) und Expertenworkshops in Laboren (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s.; Forschungsinstitut für Braunkohle) beteiligten, bei der Projektverwaltung unterstützten (Centrum pro regionální rozvoj České republiky; Zentrum für regionale Entwicklung der Tschechischen Republik) und Exkursionen in Bergwerke ermöglichten (SEVERNÍ ENERGETICKÁ A.S.).

Důležitým partnerem pro realizaci polní laboratoře pro PP2 byl státní podnik Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ). Ten poskytl nejen prostor pro školicí místnost, ve které se budou konat konference a workshopy, ale také umožnil rozsáhlé monitorování související s výzkumem v oblastech zasažených těžbou. PP2 byl dále v kontaktu s různými institucemi a společnostmi, které se podílely na organizaci seminářů ((AZ Consult spol. s r. o) a odborných workshopů v laboratořích (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s) a podporoval řízení projektu (Centrum pro regionální rozvoj České republiky) a umožnil exkurze do dolů (SEVERNÍ ENERGETICKÁ A.S.).

Überregionales Netzwerk

Insbesondere die Folgen des Kohlebergbaus, sowohl des Braunkohle- als auch des Steinkohlenbergbaus, sind spezifische und anspruchsvolle Themenfelder, welche in allen betroffenen Regionen hohe Anforderungen an Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft stellt. Die Erfassung, Modellierung und Visualisierung der Daten zum Untergrund ist eine wesentliche Voraussetzung für nachfolgende Sanierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen. So konnte auch in anderen vom (Alt)-Bergbau betroffene Regionen Deutschlands und Tschechiens bereits Erfahrungen zu geowissenschaftlichen Problemstellungen gewonnen werden; dennoch ist die facettenreiche Nachsorge eine weit in die Zukunft reichende Aufgabe, welche nur durch eine umfassende und fachliche Betreuung realisiert werden kann. Aus diesem Grund wurden im Rahmen von GeoMAP aktiv Kontakte über die Grenze des Projektgebietes hinaus geknüpft. Im Zuge dessen fand zum Beispiel ein Fachgespräch zu Erfahrungen bei der Grubenwasseranstiegsmodellierung im saarländischen Steinkohlerevier mit dem saarländischen Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz statt. Weiterhin hielten Wissenschaftler verschiedenster Forschungseinrichtungen bei den

Nadregionální síť

Zejména důsledky těžby uhlí, a to jak těžby hnědouhelné, tak i černouhelné, představují specifické a náročné oblasti, které ve všech postižených regionech kladou vysoké nároky na vědu, ekonomiku a společnost. Získávání, modelování a vizualizace dat z podloží je základním předpokladem pro následná renovační a rekultivační opatření. Takto byly získány zkušenosti s geovědními problémy také v ostatních regionech Německa a Česka postižených (historickou) těžbou; neboť mnohostranná následná péče je úkolem, který sahá daleko do budoucnosti, čehož lze dosáhnout pouze prostřednictvím komplexní a profesionální podpory. Z tohoto důvodu navázal GeoMAP aktivní kontakty za hranicemi projektové oblasti. V průběhu toho proběhla například s Ministerstvem životního prostředí a ochrany spotřebitele v Sársku odborná diskuse o zkušenostech s modelováním vzestupu hladiny důlní vody v sárském uhelném regionu. Dále vedli vědci z různých výzkumných institucí tematické přednášky na odborných konferencích a workshopech GeoMAP (např. Timo Kessler z University Greifswald s příspěvkem na 1. odborné konferenci a Elke Mugova z Výzkumného centra pro těžbu ropy s příspěvkem na 2. workshopu v Oels-

GeoMAP-Fachkonferenzen und Workshops themenspezifische Vorträge (Bspw. Timo Kessler von der Universität Greifswald mit einem Beitrag bei der 1. Fachkonferenz und Elke Mugova vom Forschungszentrum Nachbergbau mit einem Beitrag beim 2. Workshop in Oelsnitz/Erzgebirge). Im Gegenzug präsentierte sich GeoMAP auf der Fachtagung Bergbau, Energie, Rohstoffe am 11.-13.09.2019 an der THGA Bochum. Organisator der Tagung war der Deutsche Markscheiderverein (DMV).

Mitarbeiter der Bergbau- bzw. Bergbaunachfolgeunternehmen RAG Aktiengesellschaft (ehemals Ruhrkohle AG) und Wismut GmbH standen ebenfalls im regen Austausch mit dem GeoMAP-Projektteam und leisteten Beiträge zur Abschlusskonferenz GeoMAP am 23.04.2021.

nitz / Erzgebirge). Na oplátku se představil projekt GeoMAP na konferenci o těžbě, energetice a surovinách, která se konala ve dnech 11. – 13. Zář 2019 v THGA Bochum. Organizátorem akce bylo sdružení Deutsche Markscheiderverein (DMV).

Zaměstnanci těžební a post-těžební společnosti RAG Aktiengesellschaft (dříve Ruhrkohle AG) a Wismut GmbH byli také v živé výměně s projektovým týmem GeoMAP a přispěli k závěrečné konferenci GeoMAP konané dne 23. dubna 2021.



Abbildung 9-1: Teilnehmer des GeoMAP-Workshops in Oelsnitz/Erzgebirge am 19.07.2019. Darunter neben Vertretern der Projektpartner Elke Mugova (Forschungszentrum Nachbergbau, 3.v.l.), Marcus Frenzel (WISMUT GmbH, 5. v.r.), Heino Neuber (Bergbaumuseum Oelsnitz, 2.v.r.) und Bürgermeister Seidel (Gemeinde Gersdorf/Erzgebirge, 1.v.r.). Foto: J. Šancer.

Obrázek 9-1: Účastníci workshopu GeoMAP v Oelsnitz / Erzgebirge konaného dne 19. července 2019. Včetně zástupců projektových partnerů Elke Mugové (Post-těžební výzkumné středisko, 3. zleva), Marcuse Frenzela (WISMUT GmbH, 5. zprava), Heina Neubera (Hornické muzeum Oelsnitz, 2. zprava) a starosty Seidela (obec Gersdorf / Krušné hory, 1. zprava). Foto: J. Šancer.

Weiterführende Forschungsprojekte

Die Mitwirkung in weiterführenden, internationalen Forschungsprojekten war das dritte erklärte Ziel der Netzwerkarbeit. Auf Grundlage der erarbeiteten Lösungsansätze im Projekt GeoMAP entstanden neue Projektkonzepte, für die eine Förderung beantragt wurde. Im März 2021 wurde von PP1b der Projektantrag MareEn (07/2021-11/2022) beim Sächsischen

Další výzkumné projekty

Třetím deklarovaným cílem síťování byla účast na dalších mezinárodních výzkumných projektech. Na základě řešení vyvinutých v projektu GeoMAP byly vytvořeny nové koncepty projektů, k nimž byly podané žádosti o financování. V březnu roku 2021 předložil PP1b Saskému státnímu ministerstvu pro energii, ochranu klimatu, životní prostředí a zemědělství projektovou žádost MareEn (07 / 2021-11 /

Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft eingereicht. Der Titel des beantragten Projektes lautet: Standortgenaue Machbarkeitsstudie zur regenerativen Energieversorgung von Gebäuden mittels Grubenwassergeothermie in den durch die negativen Folgen des Steinkohlebergbaus geprägten sächsischen Gemeinden Oelsnitz/Erzgebirge, Lugau, Gersdorf und Hohndorf. Das Projekt soll von PP1b unter Beteiligung des DBI (Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg) in einzelnen, zur FLOEZ+-Initiative gehörenden Gemeinden durchgeführt werden.

Eine Auflistung eingereichter Projektanträge aufbauend auf GeoMAP findet sich in Kapitel 9.4.

9.3. GeoMAP als Beitrag im Kooperationsprogramm „Freistaat Sachsen – Tschechische Republik“ – Erreichung der spezifischen Ziele im Programm

In den Bergbauregionen Sachsens und Tschechiens traten nicht nur während des Rohstoffabbaus komplexe und langfristige Folgen für Umwelt, Mensch und Wirtschaft auf. Auch nach Beendigung des Abbaus und aufgrund der heutzutage verfügbaren Untersuchungsmethoden sowie insbesondere aufgrund eines veränderten Verständnisses zum Umgang mit

2022). Projekt, o něž bylo požádáno, nese název: Specifická studie proveditelnosti dodávek energie z obnovitelných zdrojů do budov pomocí geotermální energie z důlní vody v saských obcích Oelsnitz / Erzgebirge, Lugau, Gersdorf a Hohndorf, které se vyznačují tím, že nesou negativní následky černouhelné těžby. Projekt bude realizovat PP1b za účasti DBI (Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg) v jednotlivých komunitách patřících k iniciativě FLOEZ +.

Seznam podaných projektových žádostí založených na GeoMAP naleznete v kapitole 9.4.

9.3. GeoMAP jako příspěvek do kooperačního programu „Svobodný stát Sasko - Česká republika“ - dosažení konkrétních cílů programu

V těžebních regionech Saska a Česka se komplexní a dlouhodobé důsledky pro životní prostředí, obyvatelstvo a ekonomiku neprojevily pouze při těžbě surovin. Dokonce i po ukončení těžby a díky dnes dostupným metodám zkoumání, a zejména kvůli změnám v chápání toho, jak se vypořádat s tak velkými škodami na životním prostředí, je obvykle třeba hodnotit komplexní efekty ještě dynamičtěji,

derartigen Umweltbeeinträchtigungen sind die komplexen Auswirkungen meist noch dramatischer zu bewerten, als dies in früheren Zeiten angenommen wurde. Zur Bewältigung dieser Aufgaben hat sich in den Regionen ein umfangreiches Fachwissen zu Technologien, Methoden und behördlichen Verfahren angesammelt. In mehreren grenzüberschreitenden Vorgängerprojekten konnten sich Experten aus beiden Ländern zum Thema Bergbau und Sanierung bereits verständigen. Dazu gehören die EU-Projekte VODAMIN, VODAMIN II und Vita-Min. Der Schwerpunkt dieser Projekte lag jedoch vorrangig auf den Folgen und Auswirkungen des Bergbaus. Die Grundlagen für solche Betrachtungen, wie zum Beispiel den Aufbau des Untergrundes (Geologie, Hydrogeologie, Tektonik, Ausdehnung des Bergbaus und des Grubenwassers), waren hingegen kaum Gegenstand der vertiefenden Betrachtungen und wurden im Rahmen von GeoMAP tiefgreifend bearbeitet.

Es hat sich weiterhin gezeigt, dass es unabhängig von den individuellen Rahmenbedingungen in den Bergbaugebieten aus Sicht der Umwelt- und Bergbaufolgen sowie der wirtschaftlichen und demographischen Entwicklung viele Gemeinsamkeiten zwischen sächsischen und tschechischen Berg-

než se předpokládalo v dřívějších dobách. Za účelem zvládnutí těchto úkolů se v regionech nashromáždily rozsáhlé odborné znalosti technologií, metod a procesních postupů. Již v několika předchozích přeshraničních projektech se mohli odborníci z obou zemí seznámit s otázkami těžby a sanace. Patří mezi ně evropské projekty VODAMIN, VODAMIN II a Vita-Min. Tyto projekty se však zaměřily především na důsledky a účinky těžby. Na druhé straně otázky týkající se např. struktury a charakteru podloží (geologie, hydrogeologie, tektonika, vzestup těžební a důlní vody), byly jen okrajově předmětem důkladných úvah a podrobně zpracovány byly až v kontextu projektu GeoMAP.

Zároveň bylo prokázáno, že bez ohledu na jednotlivé rámcové podmínky v těžebních oblastech, existuje z hlediska environmentálních a těžebních důsledků i ekonomického a demografického vývoje mezi saským a českým těžebním regionem mnoho podobností. Na základě těchto znalostí bylo možné vyvinout pro zvládnutí těchto úkolů společné strategie pro celý příhraniční region. Přístupy udržitelného řešení a vícevrstvá síť, které byly implementovány v rámci projektu GeoMAP, přispějí v budoucnu k renovaci a vytvoření ekonomické přidané hodnoty prostřednictvím opětovného

bauregionen gibt. Auf Grundlage dieser Erkenntnis konnten gemeinsame Strategien bei der Bewältigung dieser Aufgaben für die gesamte Grenzregion entwickelt werden. Die nachhaltigen Lösungsansätze und das vielschichtige Netzwerk, welche in GeoMAP realisiert wurden, tragen zukünftig zur Sanierung und Schaffung wirtschaftlicher Mehrwerte durch Nachnutzung im Projektgebiet beiderseits der Grenze und darüber hinaus bei.

9.4. Projektindikatoren, gemeinsame Konzepte und geplanten Nachfolgeprojekte

Im Projektantrag für GeoMAP wurden Projektinhalte, Lösungskonzepte, Indikatoren, Ziele und abschätzbare Ergebnisse ausführlich dargestellt. Diese Punkte bildeten innerhalb der Projektbearbeitung besondere Schwerpunkte und wurden teilweise bereits in diesem Projektband beschrieben. Nachfolgend werden die Projektindikatoren, die erstellten Konzepte und die bereits geplanten Nachfolgeprojekte aufgeführt.

Erreichung der Projektindikatoren

Zu den Projektindikatoren zählen einerseits Einrichtungen, die an dem Projekt beteiligt waren und in unterschiedlichen Maße zu dessen Gelingen beigetragen haben und andererseits

Verwendung in projektiven Bereichen auf beiden Seiten der Grenze sowie außerhalb.

9.4. Indikatoren des Projekts, gemeinsame Konzepte und geplante Folgeprojekte

In der projektiven Anwendung für GeoMAP wurde der Projektinhalt, die Lösungskonzepte, die Indikatoren, die Ziele und die abschätzbaren Ergebnisse ausführlich dargestellt. Diese Punkte bildeten innerhalb der Projektbearbeitung besondere Schwerpunkte und wurden teilweise bereits in diesem Projektband beschrieben. Nachfolgend werden die Projektindikatoren, die erstellten Konzepte und die bereits geplanten Folgeprojekte aufgeführt.

Erreichung der Indikatoren des Projekts

Zu den Indikatoren des Projekts zählen einerseits Einrichtungen, die an dem Projekt beteiligt waren und in unterschiedlichen Maße zu dessen Gelingen beigetragen haben und andererseits

gemeinsam entwickelte Konzepte und Lösungsansätze.

straně společně vytvořené koncepce a řešení.

Am Projekt beteiligte Einrichtungen

Institute zapojené do projektu

Projektinterne Einrichtungen:

- Leadpartner Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
- PP1 TU Bergakademie Freiberg
- PP2 TU Ostrava

Interní projektové instituce:

- Hlavní partner Zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii (LfULG)
- PP1 TU Báňská akademie Freiberg
- PP2 TU Ostrava

Projektexterne Einrichtungen:

- Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge
- Sächsisches Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg
- FLOEZ+ (Future for Lugau-Oelsnitz-Zwickau)
- Sächsisches Oberbergamt Freiberg
- Forschungszentrum Nachbergbau (angesiedelt an der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum)
- Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz Saarland
- WISMUT GmbH
- RAG Aktiengesellschaft
- Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.
- Sächsisches Industriemuseum - Zinngrube Ehrenfriedersdorf
- Universität Nottingham (UK)
- Lehrstuhl Ingenieurgeologie TU Bergakademie Freiberg

Externí instituce:

- Hornické muzeum Oelsnitz / Krušné hory
- Saský státní archiv, Hornický archiv Freiberg
- FLOEZ + (budoucnost pro Lugau-Oelsnitz-Zwickau)
- Saský báňský úřad Freiberg
- Post-těžební výzkumné středisko (umístěné na Technické univerzitě Georga Agricoly v Bochumi)
- Ministerstvo životního prostředí a ochrany spotřebitele v Sársku
- WISMUT GmbH
- RAG akciová společnost
- Federální asociace pro obnovitelné energie
- Saské průmyslové muzeum - cínový důl Ehrenfriedersdorf
- University Nottingham (UK)
- Předseda inženýrské geologie na TU Báňské akademii Freiberg
- LEAG (Lausitz Energie Bergbau AG)

- LEAG (Lausitz Energie Bergbau AG)
- Staatsbetrieb Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ) (Brennstoffkombinat PKÚ)
- Bezirkshandelskammer Most (Okresní hospodářská komora Most)
- Zentrum für regionale Entwicklung der Tschechischen Republik (Centrum pro regionální rozvoj České republiky)
- Forschungsinstitut für Braunkohle, Most (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s.)
- SEVERNÍ ENERGETICKÁ A.S.
- AZ Consult spol. s r. o.
- Palivový kombinát Ústí, s.p. (PKÚ)
- Okresní hospodářská komora Most
- Centrum regionálního rozvoje České republiky
- Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most
- SEVERNÍ ENERGETICKÁ a.s.
- AZ Consult spol. s r. o.

Die einzelnen externen Einrichtungen nahmen auf unterschiedlicher Weise am Projekt teil. Allgemein kann man die Zusammenarbeit in folgende Schwerpunkte unterteilen: Mithilfe bei Exkursionen, Workshops und Veranstaltungen (bspw. durch das Forschungsinstitut für Braunkohle (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s.), SEVERNÍ ENERGETICKÁ A.S., AZ Consult spol. s r. o.), Bereitstellung von Unterlagen, Karten, Berichten (bspw. durch das Sächsisches Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg; Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge), Beteiligung an Fachgesprächen und Workshops (bspw. mit OBA, WISMUT, RAG und Forschungszentrum Nachbergbau). Weiterhin wurde Kooperationen und

Jednotlivé externí instituce se projektu účastnily různými způsoby. Obecně lze spolupráci rozdělit na tyto významné body: Pomoc s exkurzemi, workshopy a akcemi (např. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., SEVERNÍ ENERGETICKÁ a.s., AZ Consult spol. s r. o.), zajištění dokumentů, map, zpráv (např. Saským státním archivem, Těžařským archivem ve Freibergu; Hornickým muzeem Oelsnitz / Erzgebirge), účast na odborných diskusích a workshopech (např. se společnostmi OBA, WISMUT, RAG a Post-těžebním výzkumným střediskem). Rovněž byla zahájena spolupráce a výměnné programy pro studenty a doktorandy (Universita Nottingham, Universita Wroclaw (PL), Universita Oviedo (ES).

Kromě toho probíhaly různé spolupráce s následujícími partnery:

- Federální asociace pro obnovitelné energie
- Federální geotermální asociace

Austauschprogramme für Studenten und Doktoranten initiiert (Universität Nottingham, Universität Breslau (PL), Universität Oviedo (ES).

Darüber hinaus erfolgten diverse Zusammenarbeiten mit folgenden Partnern:

- Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.
- Bundesverband Geothermie e.V.
- Bundesverband Windenergie e.V.
- Dr. Peters Consulting für Membrantechnologie und Umwelttechnik
- Energy Saxony e.V.
- Fachverband Biogas e.V.
- Fraunhofer IEG / Geothermiezentrum Bochum
- Freiberg Institut für vernetzte Energieautarkie
- Gemeinde Ehrenfriedersdorf
- G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
- Hochschule Zittau/ Görlitz, Institut für Verfahrensentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung
- ICAMCyL (International Center in Advanced Materials and raw materials of Castilla y León) (ES)
- Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden
- LMBV - Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
- Martin Systems GmbH
- Mijnwater B.V. (NL)
- Federální asociace pro větrnou energii
- Dr. Peters Consulting pro membránovou technologii a environmentální technologii
- Energy Saxony e.V.
- Asociace pro bioplyn
- Fraunhofer IEG / Geotermální centrum Bochum
- Freibergský institut pro síťovou energetickou soběstačnost
- obec Ehrenfriedersdorf
- G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH (Strojírenská společnost)
- Univerzita Zittau/ Görlitz, Institut pro vývoj procesů, výzkum rašeliny a přírodních produktů
- ICAMCyL (International Center in Advanced Materials and raw materials of Castilla y León) (ES)
- Institut vzduchové a chladicí technologie Drážďany
- LMBV - Lužická a středoněmecká těžební společnost
- Martin Systems GmbH
- Mijnwater B.V. (NL)
- rECOMine-Netzwerk (sít)
- Ruhr-universita v Bochumi (RUB)
- SAXONIA Společnost pro vývoj a správu sídel
- Saský institut pro výzkum textilu
- Tshwanská technologická univerzita (ZA)
- Západosaská universita Zwickau, Institut energie a dopravy

- rECOMine-Netzwerk
- Ruhr-Universität Bochum (RUB)
- SAXONIA Standortentwicklungs- und –verwaltungsgesellschaft mbH
- Sächsisches Textil Forschungsinstitut e.V.
- Tshwane University of Technology (ZA)
- Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Energie und Verkehr

Gemeinsam entwickelte Konzepte und Lösungsansätze

Anhand von numerischen Simulationen von Nachbergbau-Problemen wurde eine Handlungsempfehlung zu geotechnischen Fragestellungen in Bergbaufolgelandschaften entwickelt (siehe Kapitel 4). Ziel der Handlungsempfehlung war es, einen Erfahrungsaustausch zum Thema anzuregen und prägnant mögliche numerische Lösungsansätze anhand von Beispielen darzustellen. Dabei wurde auch auf benötigte Monitoringdaten eingegangen, die zur Kalibrierung der Ergebnisse benötigt werden.

Ein weiteres Konzept, welches das komplette Projekt durchzog, war der Gedanke der Netzbildung. Das Projekt GeoMAP brachte Experten der unterschiedlichsten Fachbereiche in verschiedenen Workshops und Fachkonferenzen zusammen, um einen

Společně vyvinuté koncepty a řešení

S využitím numerických simulací post-těžebních problémů bylo vyvinuto doporučení pro řešení geotechnických problémů v post-hornické krajině ((viz kapitola 4). Cílem doporučení pro akci bylo podnítit výměnu zkušeností s daným tématem a na příkladech představit možná numerická řešení. Diskutovány byly také údaje o monitorování potřebné ke kalibraci výsledků.

Dalším konceptem, který prošel celým projektem, byla myšlenka vytváření sítí. Projekt GeoMAP spojil na různých seminářích a odborných konferencích experty z celé řady odborných oblastí, cílem bylo mezioborové a přeshraniční sdílení znalostí o využívání post-těžební krajiny. Trvale pozitivní reakce na tato setkání a obsahy projektů, které byly vytvořeny a které lze najít na webových stránkách projektu

fach- sowie länderübergreifenden Wissenstransfer zum Thema Nutzung von Bergbaufolgelandschaften zu gestalten. Die durchweg positiven Resonanzen auf diesen Treffen sowie die entstandenen Projektbände, die auf der Projektwebseite www.geomap.sachsen.de zu finden sind, zeugen dabei von einem Erfolg.

Auf GeoMAP aufbauende Projektanträge

GeoMAP baut auch auf Erfahrungen aus Vorgängerprojekten, wie VODAMIN, VODAMIN II und Vita-Min, auf. Bereits während der Abschlussphase des Projekts wird von den Projektpartnern an weiteren, fachlich anknüpfenden Projekten gearbeitet. Nachfolgend werden ausgesuchte, in Planung befindliche Projekte aufgelistet (Stand: April 2021):

Nutzung von Bergbaulandschaften zur regenerativen Wärmeversorgung (rECOMine-NuBeWa)

- Geplante Laufzeit: 01/2021-12/2023
- Partner: TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für technische Thermodynamik, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau), S-Tec Anlagenbau GmbH, Industrielackierung Leichsnering

www.geomap.sachsen.de, svědčí o úspěchu.

Na GeoMAP navázané návrhy projektů

GeoMAP staví také na zkušenostech z předchozích projektů, jako jsou VODAMIN, VODAMIN II a Vita-Min. Již během závěrečné fáze projektu pracují projektoví partneři na dalších odborně souvisejících projektech. Vybrané projekty v plánování jsou uvedeny níže (stav: duben 2021):

Využití těžební krajiny pro regenerativní dodávku tepla (rECOMine-NuBeWa)

- Plánovaný termín: 01/2021-12/2023
- Partner: TU Báňská akademie ve Freibergu (Katedra technické termodynamiky, Institut pro těžbu a speciální stavitelství), S-Tec Anlagenbau GmbH, Industrielackierung Leichsnering (průmyslová barviva)

Effizienzsteigerung bei der geothermischen Nutzung von Bergbaulandschaften zur regenerativen Wärmeversorgung (GeoBel)

- Geplante Laufzeit: 01/2021-12/2023
- Partner: TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für technische Thermodynamik, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau), S-Tec Anlagenbau GmbH

Bestimmung des Potenzials zur regenerativen Kälte- und Wärmeversorgung unter Verwendung von Grubenwassergeothermie als innovative Energiequelle ortskonkret in Sachsen für Gebäude bis 2050 (GEo@Home)

- Geplante Laufzeit: 12/2020-11/2023
- Partner: TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für technische Thermodynamik), DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

Standortgenaue Machbarkeitsstudie zur regenerativen Energieversorgung von Gebäuden mittels Grubenwassergeothermie in den durch die Folgen des Steinkohlebergbaus geprägten sächsischen Gemeinden Oelsnitz (im Erzgebirge), Lugau, Gersdorf und Hohndorf (MareEn)

- Geplante Laufzeit: 07/2021-11/2022

Zvýšená účinnost při geotermálním využívání těžební krajiny pro zásobování regenerativním teplem (GeoBel)

- Plánovaný termín: 01/2021-12/2023
- Partner: TU Báňská akademie ve Freibergu (Katedra technické termodynamiky, Institut pro těžbu a speciální stavitelství), S-Tec Anlagenbau GmbH

Stanovení potenciálu pro regenerativní chlazení a vytápění pomocí geotermální energie z důlní vody jako inovativního zdroje energie konkrétně v Sasku pro budovy do roku 2050 (GEo@Home)

- Plánovaný termín: 12/2020-11/2023
- Partner: TU Báňská akademie ve Freibergu (Katedra technické termodynamiky), DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg (Institut technologie plynu)

Specifická studie proveditelnosti dodávek energie z obnovitelných zdrojů do budov pomocí geotermální energie z důlní vody v saských obcích Oelsnitz (Erzgebirge), Lugau, Gersdorf a Hohndorf (MareEn), které jsou formovány důsledky uhelné těžby

- Plánovaný termín: 07/2021-11/2022

- Partner: TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für technische Thermodynamik), DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

Effizienzsteigerung bei Grubenwasser-geothermie durch innovatives Anlagendesign (GinoA)

- Geplante Laufzeit: 08/2021-07/2024
- Partner: TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für technische Thermodynamik, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau) SiC Processing (Deutschland) GmbH, Tranter GmbH

Green solutions for energetic re-use of mines in Europe (GREENenergy@mine)

- Geplante Laufzeit: 09/2021-12/2024
- Partner: TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für technische Thermodynamik, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau), Technological Centre Lurederra (ES), Public Organisation 'Ukrainian Association of Geologists' (UA), ZEUSS EU-Service Saxony, Saxon State Ministry for Science, Culture and Tourism (DE), University of Oulu (FI), Technical University of Ostrava (CZ), Sintef Energi AS (NO), University of Leipzig (DE), AGH University of Science and

- Partner: TU Báňská akademie ve Freibergu (Katedra technické termodynamiky), DBI - Gas- und Umwelttechnik GmbH (Plynové a ekologické technologie)

Zvýšená účinnost geotermální energie důlní vody díky inovativnímu návrhu systému (QUinoA)

- Plánovaný termín: 08/2021-07/2024
- Partner: TU Báňská akademie ve Freibergu (Katedra technické termodynamiky, Institut pro těžbu a speciální stavitelství), SiC Processing (Deutschland) GmbH, Tranter GmbH

Green solutions for energetic re-use of mines in Europe (GREENenergy@mine)

- Plánovaný termín: 09/2021-12/2024
- Partner: TU Báňská akademie ve Freibergu (Katedra technické termodynamiky, Institut pro těžbu a speciální stavitelství), Technologické centrum Technological Centre Lurederra (ES), Veřejná organizace 'Ukrainian Association of Geologists'/Ukrajinská asociace geologů (UA), ZEUSS EU-Service Saxony/ EU- servis Sasko, Saské státní ministerstvo pro vědu, kulturu a cestovní ruch (DE), Univerzita Oulu (FI), TU Ostrava (CZ), Sintef Energi AS (NO), Univerzita Lipsko

Technology (PL), Tri es Consultancy (NL), Geological Survey of Finland (FI), Norwegian University of Science and Technology (NO)

- Assoziiert (Beirat): European Geothermal Energy Council (EGEC), Saxon State Ministry for Energy, Climate Protection, Environment and Agriculture (DE), University of Helsinki (FI), Scottish Enterprise (UK).

(DE), AGH Univerzita vědy a techniky (PL), poradenství Tri es Consultancy (NL), Geological Survey of Finland /Geologický průzkum Finsko (FI), Norská univerzita vědy a techniky (NO)

- Přidružení (poradní výbor): European Geothermal Energy Council (EGEC), Saxon State Ministry for Energy, Climate Protection, Environment and Agriculture (DE), University of Helsinki (FI), Scottish Enterprise (UK)

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0

Telefax: + 49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/ Felsbau

TU Bergakademie Freiberg, Professur für technische Thermodynamik

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Autoren:

Dieses Werk entstand in Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen. Zu Beginn jedes Kapitels werden die federführenden Autoren genannt.

Redaktion:

Axel Rommel, Sylvi Hädecke, Maria Ussath, Mathias Hübschmann

Abteilung 10 Geologie

Referat 105 Hydrogeologie

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Halsbrücker Straße 31 a | 09599 Freiberg

Telefon: +49 3731 294 1200

Telefax: +49 3731 294-1099

E-Mail: Axel-Rommel@web.de; Sylvi.Haedecke@gmx.de; Maria.Ussath@smul.sachsen.de;
Mathias.Huebschmann@smul.sachsen.de

Fotos:

Dieses Werk entstand in Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen. Der individuelle Bildrechteinhaber wird in der jeweiligen Abbildungsunterschrift erwähnt.

Redaktionsschluss:

25.05.2021

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de

GeoMAP

